

# **METODOLOGÍA DE INGENIERÍA PARA TRATAR ZONAS DE PÉRDIDA GRAVE CON UN SISTEMA DE CEMENTO TIXOTRÓPICO**

## **ANTECEDENTES**

5

La presente descripción se relaciona con un método para tratar problemas de pérdida de circulación que se originan de las zonas de pérdida durante los procesos de perforación y cementación a través del uso de un cemento tixotrópico.

10

La pérdida de circulación es un problema conocido en la industria que puede tener como resultado un tiempo inactividad durante la perforación y cementación y/o la pérdida de los fluidos de perforación y cementación en la formación circundante. La pérdida de circulación es la pérdida parcial o total de fluido de perforación y suspensiones de cemento en los vacíos de la formación durante las operaciones de perforación, circulación, revestimiento remedial o cementación. Los estimados muestran que estos tipos de pérdidas ocurren durante la perforación de aproximadamente 20-25 % de los pozos en el mundo. Dichas pérdidas pueden ser extremadamente costosas y problemáticas, lo que tiene como resultado pérdida de tiempo del equipo de perforación, tuberías atascadas, reventones y en ocasiones el abandono total de pozos

costosos. Estas pérdidas también pueden provocar una reducción en la producción y pérdida de horas de trabajo entre otras cosas.

5 Los problemas de pérdida de circulación pueden ocurrir en cualquier profundidad y pueden ocurrir cuando la presión total que se ejerce contra la formación excede la presión de ruptura de la formación o cuando existen fracturas o fisuras de consideración que conectan el pozo con la formación  
10 circundante. Los problemas de pérdida de circulación son generalmente causados por cuatro tipos de formaciones: 1) formaciones fracturadas naturalmente o inducidas; 2) formaciones vacuolares o cavernosas; 3) formaciones altamente permeables; y 4) formaciones no consolidadas. Estas formaciones  
15 pueden verse agravadas luego de la perforación o debido a cargas significativas durante la perforación en formaciones débiles que tienen un gradiente de fracturamiento bajo. Estas formaciones pueden provocar muchos niveles de pérdidas dependiendo de su tamaño y ubicación.

20

Un método de abordar la pérdida de circulación es agregar materia particulada dimensionada al fluido que se coloca en la formación con la esperanza de que las partículas dimensionadas adecuadamente bloquearán las fisuras, una cara porosa u otras

aberturas para el pozo en la formación subterránea. Sin embargo, dichas soluciones particuladas se adecuan mejor a pozos en ubicaciones donde se observan pérdidas relativamente menores. Los pozos que experimentan pérdidas moderadas a graves son menos enmendables con una solución particulada dimensionada. Adicionalmente, las pérdidas que son tratadas durante una perforación pueden, en ocasiones, continuar durante la cementación debido a cuando, por ejemplo, se utiliza un cemento con mayor densidad que el fluido de perforación.

10

El procedimiento usual para tratar pérdidas moderadas a graves durante la perforación es bombear un lote de fluido de material para pérdida de circulación (LCM, por sus siglas en inglés), frecuentemente denominado píldora de LCM. Esta píldora rellena los pliegues de la zona de pérdida y también pueden proporcionar refuerzo del pozo para permitir la perforación adicional. Sin embargo, en los casos de pérdidas graves, incluso dicho tratamiento con una píldora puede no ser eficaz. En dichos casos, se han sugerido soluciones químicas como polímeros, viscosificantes, espumas, poliuretanos, carbonatos de calcio y geles reticulados. Sin embargo, dichas soluciones químicas pueden no ser consistentes en la aplicación y tender a variar en función de la temperatura del pozo. Además, pueden ser difíciles de colocar, lo que exige experiencia para

20

asegurar que se trate el área correcta que rodea al pozo. Existe una necesidad de una metodología con un mayor grado de éxito y consistencia en el tratamiento de zonas de pérdida.

5

## **BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

Las siguientes figuras se incluyen para ilustrar determinados aspectos de la presente descripción y no deberían considerarse como modalidades exclusivas. La materia descrita permite  
10 modificaciones, alteraciones, combinaciones y equivalentes considerables en forma y función, sin apartarse del alcance de la presente descripción.

La Figura 1 ilustra la secuencia de etapas operacionales al  
15 llevar a cabo una modalidad del presente método.

La Figura 2A es la primera mitad de un diagrama de flujo que ilustra las etapas de decisión y etapas de procedimiento de una modalidad del presente método.

20

La Figura 2B es la segunda mitad de un diagrama de flujo que ilustra las etapas de decisión y etapas de procedimiento de una modalidad del presente método.

La Figura 3 ilustra un ejemplo de gráfica de resultados de los resultados de la evaluación reológica.

### **DESCRIPCIÓN DETALLADA**

5

La presente descripción se relaciona con un método de tratamiento de una zona de pérdida durante la perforación o revestimiento remedial. El método comprende, en general, las etapas de encontrar una zona de pérdida en un pozo durante la perforación o revestimiento remedial y bombeo de un fluido de tratamiento en la zona de pérdida. El fluido de tratamiento es un gel capaz de gelificarse, romperse cuando se somete a cizallamiento y volver a acumular esfuerzo de corte luego de que se elimina el cizallamiento.

15

Para facilitar una mejor comprensión de la presente descripción, se proporcionan los siguientes ejemplos de modalidades preferidas o representativas. De ninguna manera se debe interpretar que los ejemplos que siguen limitan o definen el alcance de la descripción.

20

La presente descripción proporciona un enfoque confiable para tratar las pérdidas graves mediante el uso de un sistema de cemento tixotrópico que comprende un fluido de tratamiento

especializado. En algunas modalidades, un fluido de tratamiento especializado adecuado tiene una densidad menor que alrededor de 11 libras por galón y puede contener polímeros, cementos, arcilla, estabilizadores y/o rellenos fibrosos. Este fluido de tratamiento especializado es capaz de gelificar rápidamente y, una vez que se encuentra en forma de gel, su viscosidad se reduce (rompe) cuando se somete a cizallamiento. Luego de que se elimina el cizallamiento, el fluido de tratamiento vuelve a acumular resistencia de gel rápidamente. Este proceso puede repetirse múltiples veces y la resistencia mecánica se acumula durante el tiempo.

En resumen, el mecanismo detrás del funcionamiento de un sistema de cemento tixotrópico es de la siguiente manera. Durante la circulación (colocación o bombeo), se comporta como un sistema de cemento común con viscosidades lo suficientemente bajas para permitir que el fluido de tratamiento fluya de forma eficaz hacia la zona de pérdida. Una ventaja de utilizar este tipo de fluido de tratamiento es que, ya que es un fluido tixotrópico, es relativamente fácil colocar y su flujo se detiene muy rápidamente luego de su colocación. Además, una vez que el fluido de tratamiento se detiene, comienza inmediatamente a acumular un esfuerzo de compresión. Existen varios métodos diferentes para la colocación de este tipo de

fluido de tratamiento. Por ejemplo, la colocación de este tipo de fluido tixotrópico típicamente ocurre en forma de un proceso de inyección forzada. La inyección forzada puede ocurrir de una vez en caso de una inyección forzada continua o una cementación remedial o puede ocurrir en etapas en el caso de una inyección intermitente. Durante una cementación remedial o una inyección forzada continua, el volumen objetivo total se coloca en la zona de pérdida en una sola vez. Durante una inyección intermitente, un volumen predefinido se coloca en la zona de pérdida, seguido de un período de espera, luego del cual existe otro período de colocación. Este ciclo continúa hasta que se coloca la totalidad del volumen objetivo. Sin importar el tipo de inyección forzada, el proceso general permanece igual. Luego de la colocación en la zona de pérdida, el fluido de tratamiento colocado en la zona de pérdida tiene una tendencia a fluir durante un período breve luego del efecto de una presión de columna hidrostática anular sobre la zona de pérdida. Esta fase puede calificarse como un período casi estático o sin flujo dependiendo de las tasas de cizallamiento experimentadas por el fluido de tratamiento colocado en la zona de pérdida. Durante esta tasa de cizallamiento baja o período sin flujo, el fluido de tratamiento acumula rápidamente resistencia de gel debido a su comportamiento tixotrópico, por lo que se evita el flujo adicional en la zona de pérdida.

Adicionalmente, dado que se utiliza un fluido de tratamiento en función de cemento en el proceso, luego de que el período estático descrito anteriormente, también acumula esfuerzo de compresión lo que tiene como resultado el reforzamiento del pozo. El sistema funciona en un intervalo amplio de densidades, temperaturas y tamaños de pérdida y es más consistente en el tratamiento de pérdidas que los métodos de la técnica previa. Para proporcionar el reforzamiento del pozo, puede bombearse cemento convencional en las zonas de pérdida detrás del fluido de tratamiento, si se desea.

La Figura 1 muestra la secuencia de las etapas operacionales para el mecanismo anterior. Se muestran la sarta de perforación 10, el pozo abierto 12 y las zonas de pérdida de circulación 14. En la Etapa 1, el fluido de perforación 16 ocupa ambas zonas de pérdida 14 y el pozo 18. En la Etapa 2, el fluido de tratamiento 20 se bombea en la zona de pérdida 14. La Etapa 3 es el período estático donde la resistencia de gel del fluido de tratamiento 20 se deja acumular bajo la influencia de presión hidrostática anular sobre la zona de pérdida 14. Aquí, puede observarse una condición casi estática o una condición sin flujo en la zona de pérdida 14 dependiendo de la tasa de acumulación de resistencia de gel, volumen del fluido de tratamiento en la zona de pérdida y el nivel de presión

hidrostática anular. En la Etapa 4, el fluido de tratamiento residual 20 y el lodo se hacen recircular luego de que se deja el tiempo estático deseado para que se acumule resistencia de gel.

5

El uso de un fluido de tratamiento para tratar zonas de pérdidas tiene riesgos. En virtud del mecanismo tixotrópico, existe un riesgo de que el fluido de tratamiento fragüe en el pozo y/o la tubería de perforación, especialmente cuando el fluido de  
10 tratamiento no se retira de la sarta de perforación totalmente, debido a una falla de bombeo o predicciones imprecisas sobre el volumen. Por lo tanto, es necesario realizar cálculos de ingeniería para determinar la acumulación de resistencia de gel máxima permitida para evitar el fraguado. Estas  
15 resistencias de gel máximas dependen de la ubicación de la zona de pérdida, la geometría de la zona de pérdida, la tasa de pérdida la presión de bomba hidrostática anular, la presión de bomba y la temperatura. Esto, a su vez, proporciona una recomendación de inactividad máxima (en caso de que la bomba  
20 deje de funcionar, tal como cuando existe el fluido de tratamiento dejado en la sarta de perforación).

También deben realizarse otros cálculos y proyecciones antes de que comience el proceso de tratamiento. Debe determinarse

la presión para la recirculación del fluido de tratamiento residual en el tubular y el espacio anular luego de un trabajo de colocación exitoso para asegurar que la recirculación sea posible. La reología del sistema de fluido de tratamiento debe ajustarse para permitir una colocación fácil. El tiempo estático adicional debe tomarse en cuenta en caso de que exista una necesidad de cambiar el equipo de perforación y las bombas de cemento y también en caso de que el bombeo del fluido de tratamiento a través del ensamblaje del interior del pozo no esté permitido y, de esta manera, se vea implicado un tiempo de maniobra. Los parámetros reológicos deben considerar los cuatro criterios anteriores. La cantidad de fluido de tratamiento necesaria para llenar las zonas de pérdida debe ser eficazmente determinada. Esto depende del tamaño de las pérdidas y las profundidades en las que se encuentran estas pérdidas. Dependiendo de la necesidad de un tapón temporal o permanente, el sistema puede necesitar diseñarse para disolverse en ácido.

La descripción de la totalidad del proceso que incluye los cálculos y proyecciones a los que se hace referencia anteriormente se describirán con referencia al diagrama de flujo en las Figuras 2A y 2B, aun con referencia a la Figura 1. En las Figuras 2A y 2B, las letras "A", "B", "C", "D", "E",

"F" y "G" representan la continuación de las líneas etiquetadas de la Figura 2A a Figura 2B y viceversa. El proceso comienza con la perforación 22. Una vez que se encuentra una zona de pérdida 24, existen cuatro etapas principales en el flujo de trabajo: (i) en primer lugar, el modelo de reología debe determinarse para representar el sistema de cemento tixotrópico, (ii) en segundo lugar, se determina la presión de recirculación en caso de inactividad, (iii) en tercer lugar, el sistema de cemento se diseña y se evalúa, que incluye su solubilidad en ácido, (iv) finalmente, se determina el volumen de trabajo exigido para colocar el sistema de cemento en la zona de pérdida eficazmente y se lleva a cabo el trabajo de tratamiento de la zona de pérdida.

El trabajo del modelo de reología se realiza en dos veces: establecer la relación funcional entre la tasa de cizallamiento y viscosidad durante el régimen del flujo y establecer la relación entre la resistencia de gel y el tiempo durante el régimen casi estático o sin flujo. La ventana aceptable de viscosidad con respecto a la tasa de cizallamiento para los sistemas de cemento durante el bombeo es bastante amplia y no el componente determinante del modelo de reología. En su lugar, la acumulación de la resistencia de gel durante el tiempo es el componente determinante y debe cumplir las exigencias a

continuación.

Un valor mínimo de la resistencia de gel por longitud de unidad de la columna de fluido de tratamiento es necesario al final del período estático de forma tal que el fluido de tratamiento en la zona de pérdida no experimentará un flujo significativo debido a la presión de la columna hidrostática anular sobre la zona de pérdida en la que este fluido de tratamiento se colocará durante la condición estática (Etapa 3 en la Figura 1) con el fin de evitar pérdidas adicionales. El proceso de conversión de resistencia de gel en presión equivalente y el análisis de si el flujo ocurre durante el período estático bajo el efecto de la presión hidrostática se designa como "modelo de ingeniería para la predicción de la resistencia de gel" 26 en el flujo de trabajo mostrado en la Figura 2A. Con el fin de llevar a cabo este modelo de ingeniería, son necesarias la profundidad de la zona de pérdida 28 y la densidad de fluido anular 30 para determinar la presión hidrostática anular 32 sobre la zona de pérdida. El final de la colocación del fluido de tratamiento 20 es el comienzo de este período estático. El fluido de tratamiento 20 se llevó a cabo a una velocidad correspondiente a la velocidad de flujo durante la colocación. A partir de esta velocidad, el fluido 20 alcanzará una velocidad cero en un tiempo finito debido al hecho de que la

resistencia de gel aumenta con el tiempo y, por lo tanto, la resistencia a los aumentos de flujo con el tiempo. Sin embargo, la fuerza de accionamiento, que es la presión hidrostática anular, no aumenta con el tiempo. Se necesita resolver la ecuación de balance de fuerza en el fluido de tratamiento dentro de la zona de pérdida para predecir cuándo la velocidad será cero. Este modelo de ingeniería lleva a cabo cálculos que podrían ser analíticos o basarse en una simulación de las dinámicas del fluido informática sin convección y bajo la acción de la presión hidrostática con una reología de cambio temporal de la columna de tratamiento de fluido en la zona de pérdida.

Una vez que el tiempo necesario para lograr esto se calcula, la resistencia de gel mínima, junto con la parte viscosa, el modelo reológico se considera definida. Este proceso se define bajo la primera columna en el flujo de trabajo mostrado en la Figura 2A. Una tasa de acumulación de resistencia de gel se define a continuación. Por ejemplo, si la resistencia de un fluido de tratamiento de ejemplo aumentó de 100 lbf/100 ft<sup>2</sup> a 500 lbf/100 ft<sup>2</sup> en 11 minutos, la tasa de acumulación de resistencia de gel es 36.36 lbf/100ft<sup>2</sup>/min. Puede usarse cualquier método reológico estándar para determinar esta tasa de acumulación de la resistencia de gel

para el fluido de tratamiento.

Luego, deben considerarse dos decisiones operacionales: si es posible bombear a través de la parte inferior del ensamble del interior del pozo 40 o eliminar la sarta de perforación 10 completamente desde el pozo 18 en un proceso denominado "maniobra" 42 y si es necesario cambiar la bomba del equipo de perforación y la bomba de cemento 44. Si se determina que el bombeo a través del ensamble del interior del pozo es posible, la siguiente etapa es determinar si el fluido de tratamiento puede bombearse a través de la bomba del equipo de perforación. Si esto no es posible, debe calcularse 46 el tiempo necesario para cambiar las bombas del equipo de perforación y de cemento. Alternativamente, si el fluido de tratamiento no puede bombearse a través del ensamble del interior del pozo, debe determinarse si la maniobra es posible 42. Si la maniobra no es posible, el proceso debe detenerse 48 y debe considerarse un método diferente para el tratamiento de la zona de pérdida. Si la maniobra es posible, el tiempo de maniobra debe estimarse, así como también el volumen del trabajo estimado 52. Esos procesos pueden originar un tiempo estático adicional 50. Dependiendo de la tasa de acumulación de resistencia de gel calculada anteriormente, puede determinarse la resistencia de gel máxima al final de este

tiempo estático adicional 54. Esta resistencia de gel máxima debe ser tal que la presión necesaria para retirar por circulación el fluido de tratamiento residual 56 en la tubería de perforación y en el espacio anular no debe exceder la especificación de presión de bombeo o dañar la formación adicionalmente.

Las etapas descritas anteriormente son iterativas y definirán eventualmente el modelo reológico.

10

Matemáticamente, este comportamiento reológico puede representarse mediante el uso de la relación constitutiva del modelo de fluido Herschel-Bulkley con un límite elástico de la siguiente manera:

15

$$\begin{aligned}\tau &= \tau_0 + K\dot{\gamma}^n \text{ cuando } \dot{\gamma} > \dot{\gamma}_c \\ \tau &= (\tau_{HB} + \lambda(t-t_0)) + K\dot{\gamma}^n \text{ cuando } \dot{\gamma} \leq \dot{\gamma}_c\end{aligned}$$

20

En este caso,  $\tau$  es el esfuerzo de corte,  $\tau_{HB}$  es el límite elástico obtenido de la lectura de dial de la tasa de cizallamiento baja tradicional a partir de un reómetro FANN 35 o equivalente,  $K$  es el índice de consistencia,  $n$  es el índice de flujo,  $\dot{\gamma}$  es la tasa de cizallamiento,  $\lambda$  es la tasa de acumulación de resistencia de gel durante una condición casi estática o sin flujo,  $\dot{\gamma}_c$  es la tasa de cizallamiento muy baja

definida por el usuario (es decir, una lectura de 3 rpm en Fann 35) que separa el régimen de flujo de un régimen casi estático o sin flujo,  $t$  es el tiempo reloj y  $t_0$  es el tiempo reloj en el que comenzó el período estático (Etapa 3 en la Figura 1).

5 Esta es una representación explícita de los parámetros reológicos en función del tiempo.

Otro parámetro de orden en función de los modelos y modelos empíricos se encuentran disponibles para representar  
10 comportamiento reológico dependiente del tiempo de los fluidos. En principio, cualquier modelo reológico que representa las tres características esenciales calificadas a continuación pueden usarse para representar el fluido: (i) para una tasa de cizallamiento dada, la viscosidad aumenta con un aumento en el  
15 tiempo para lograr un valor de viscosidad de estado estático, (ii) con un aumento en la tasa de cizallamiento, la viscosidad disminuye y viceversa, y (iii) durante el tiempo casi estático o sin flujo, el límite elástico aumenta con el tiempo.

20 La siguiente etapa en el proceso es determinar la presión necesaria para la recirculación del fluido de tratamiento si la colocación del fluido de tratamiento falla. Si la colocación del fluido de tratamiento no es exitosa debido a la falla de bombeo o cualquier otra razón, el fluido de tratamiento puede

permanecer en la tubería de perforación, en el espacio anular o en ambos. En función del modelo de reología definido mediante el uso del procedimiento anterior, puede estimarse la acumulación de la resistencia de gel con el tiempo 58. Esto, a su vez, determina la presión necesaria para romper el fluido de tratamiento y establecer la recirculación mediante la solución del modelo de ingeniería para la predicción de la resistencia de gel.

Asimismo, la cantidad máxima de tiempo para la cual se permite dicha situación dependerá de las especificaciones máximas de la bomba 60 sobre la que no puede recircular cemento o la presión máxima que puede ejercerse sin fracturar la formación 62. En función del modelo de reología, puede estimarse que la resistencia de gel 64 máxima y el tiempo para alcanzar la resistencia de gel máxima 58 de forma tal que la disminución de presión ofrecida por el fluido de tratamiento es igual a las especificaciones de presión de la bomba o la presión de fracturación de la formación. Si se espera esta cantidad de inactividad, el fluido de tratamiento debe recircularse o tratarse químicamente para romper el fluido de tratamiento. Esta determinación se ilustra en la cuarta columna 100 del flujo de trabajo mostrado en la Figura 2B. En primer lugar, se determina la presión de bomba máxima. Luego, se estima la

presión máxima permitida para la recirculación por longitud de  
unidad de la columna de fluido de tratamiento. Luego, se estima  
la resistencia de gel máxima permitida, así como también el  
tiempo para lograr esa resistencia de gel permitida. A partir  
5 de estas estimaciones, puede determinarse si el fluido de  
tratamiento puede recircularse antes de que se logre la  
resistencia de gel máxima 66. El cemento se recircula si es  
posible 70. Si no es posible, debe llevarse a cabo la evaluación  
de solubilidad 68 para determinar cuánto le tomará romper el  
10 fluido de tratamiento. Si puede recircularse, se determina si  
el trabajo debe repetirse 104 para tratar de forma adecuada la  
zona de pérdida 14.

La etapa siguiente en el proceso es diseñar y evaluar el sistema  
15 de cemento tixotrópico 72. Durante el diseño de fluido de  
tratamiento, la composición de fluido de tratamiento se  
determina con el fin de proporcionar el modelo reológico  
deseado. Las evaluaciones de confirmación deben llevarse a cabo  
para asegurar que se obtenga el comportamiento reológico  
20 necesario. Estas evaluaciones incluyen evaluaciones FANN 35 o  
equivalentes, o una evaluación de corte y conexión mediante el  
uso de un consistómetro de HPHT o su equivalente. La evaluación  
de corte y conexión implica mezclar el fluido de tratamiento a  
150 rpm durante un período de tiempo y luego dejar estático

durante un período corto de tiempo luego de lo cual la mezcla se inicia nuevamente. Este ciclo se repite una cantidad de veces. Una gráfica de resultados de ejemplo se muestra en la Figura 3. Los picos en la viscosidad representan la acumulación de la resistencia de gel y la meseta siguiente representa la viscosidad recuperada luego de romper el fluido de tratamiento acumulado. Mientras que el modelo predice la presión para romper la circulación, esta evaluación de corte y conexión confirma si el fluido de tratamiento recuperará viscosidad suficiente, una vez que la circulación se rompió, de forma tal que pueda bombearse. El tratamiento de pérdida de circulación puede ser temporal o permanente. Si se diseña para ser temporal, es necesario disolver el fluido de tratamiento fraguado mediante el uso del ácido. En dichos escenarios, también debe llevarse a cabo una evaluación de solubilidad en ácido en el cemento fraguado. Este proceso de confirmar lecturas de reología en su totalidad, que se lleva a cabo mediante evaluaciones de corte y conexión, y solubilidad en ácido, se muestra en la mitad inferior de la tercera columna 74 de la Figura 2B.

Finalmente, debe determinarse 76 el volumen del fluido de tratamiento necesario para el trabajo. Dada la tasa de pérdida volumétrica 78 estimada durante la perforación, la geometría

aproximada 80 de la zona de pérdida 14 puede determinarse mediante el uso de los gradientes de tensión vertical, peso de lodo utilizado y las relaciones constitutivas tensión-deformación. Mediante el uso de geometría representativa del agujero 82, la sarta de perforación y la zona de pérdida, simulaciones informáticas de las dinámicas del fluido u otros métodos adecuados pueden llevarse a cabo en las que el lodo puede desplazarse con el fluido del tratamiento y se rastrean los frentes de fluido. Estas simulaciones exigen los modelos reológicos de fluido tixotrópico en el régimen de flujo y también el modelo reológico en el fluido de perforación. El resultado de la simulación es un estimado del volumen del fluido de tratamiento necesario para ocupar una longitud predeterminada de la grieta en la zona de pérdida. Este proceso se describe en la segunda columna 84 en la Figura 2A de flujo de trabajo. Una figura representativa antes y después del bombeo del fluido de tratamiento se muestra en las Etapas 1 y 2 respectivamente de la Figura 1. Este proceso de determinación del volumen de trabajo utilizando simulaciones informáticas de la dinámica del fluido se designa como "modelo de ingeniería para la predicción del volumen de trabajo" 86 en el flujo de trabajo mostrado en la Figura 2A.

En resumen, el volumen de trabajo se obtiene a partir del

modelo de ingeniería para la predicción del volumen de trabajo

86. El modelo reológico y la presión para la recirculación se

obtienen a partir del modelo de ingeniería para la predicción

de la resistencia de gel 36. El diseño del fluido de tratamiento

5 y la evaluación del fluido de tratamiento se llevan a cabo en

el fluido de tratamiento finalizado 72. El trabajo del fluido

de tratamiento se lleva a cabo luego 88 para tratar la zona de

pérdida 14.

10 Si el trabajo del fluido de tratamiento es exitoso 90 en el

relleno y estabilización de la zona de pérdida, el tiempo

estático deseado se mantiene y los fluidos del pozo se hacen

recircular 102. Se toma una decisión sobre si se desea que el

tratamiento sea permanente o temporal 92. Si se desea que el

15 tratamiento de circulación de pérdida sea temporal, se disuelve

posteriormente mediante el tratamiento con ácido 94. Si el

tratamiento es permanente puede dejarse en el lugar y, cuando

se desee un refuerzo del pozo adicional 96, puede bombearse

cemento convencional 98 luego de la colocación del fluido de

20 tratamiento en la zona de pérdida.

Si existen problemas operativos durante el trabajo que

necesitan que el fluido de tratamiento se retire mediante

circulación, se lleva a cabo el siguiente procedimiento. El

modelo de ingeniería descrito anteriormente para la predicción de resistencia de gel proporcionó el tiempo de inactividad máximo permitido dentro del cual los fluidos del pozo deben recircularse para evitar que el fluido de tratamiento alcance la resistencia de gel máxima permitida. Si por cualquier razón este tiempo de inactividad máximo permitido se excede, el tratamiento de ácido debe llevarse a cabo para romper el fluido de tratamiento y permitir una recirculación fácil del fluido de tratamiento desde el pozo. Esto es un método alternativo para superar los problemas operativos si falla la recirculación. Las evaluaciones de solubilidad en ácido deben llevarse a cabo en el fluido de tratamiento antes de evaluar su capacidad para disolverse luego de fraguar.

Desde el punto de vista operativo, la solubilidad en ácido de una columna de fluido de tratamiento larga es lo que es relevante. La longitud de la columna de fluido de tratamiento acidificada será en función de la presión diferencial, geometría de la columna, tiempo de exposición al ácido, concentración de ácido y naturaleza del fluido de tratamiento. Puede usarse un análisis de escalamiento para escalar de forma descendente las variables anteriores para representar condiciones del interior del pozo. En función del presente análisis, puede usarse una geometría de tubería en espiral con

una longitud y diámetro predeterminados para esta evaluación. Esta tubería debe llenarse con el fluido de tratamiento y el fluido de tratamiento se deja fraguar durante el tiempo deseado. Luego, el ácido se bombea con una presión constante calculada diferencial a través de la tubería durante el tiempo determinado. Se mide la longitud de la columna de fluido de tratamiento acidificada. Mediante el escalamiento ascendente de los resultados de laboratorio, puede estimarse la disolución de ácido posible en condiciones de pozo.

10

Por lo tanto, los sistemas y métodos descritos se adaptan correctamente para lograr los fines y las ventajas que se mencionaron, así como también los inherentes a estos. Las modalidades particulares que se describieron anteriormente son meramente ilustrativas, ya que las indicaciones de la presente descripción pueden modificarse y llevarse a la práctica de maneras diversas, aunque equivalentes, que resultarán evidentes para los expertos en la técnica con el beneficio de las indicaciones de la presente. Asimismo, no se pretende imponer limitaciones a los detalles de construcción o diseño que se muestran en la presente, excepto en la medida en que se describe en las reivindicaciones a continuación. Por lo tanto, resulta evidente que las modalidades ilustrativas particulares descritas anteriormente pueden alterarse, combinarse o

modificarse y que todas esas variaciones se consideran dentro del alcance de la presente descripción. Los sistemas y métodos descritos de manera ilustrativa en la presente pueden ponerse en práctica correctamente en ausencia de cualquiera de los

5 elementos que no se describen específicamente en la presente y/o cualquier elemento opcional descrito en la presente. Si bien las composiciones y los métodos se describen con términos como "que comprenden", "que contienen" o "que incluyen" diversos componentes o etapas, las composiciones y los métodos

10 también pueden "consistir esencialmente en" o "consistir en" los diversos componentes y etapas. Además, los términos en las reivindicaciones tienen su significado simple y común, a menos que el titular de la patente defina expresa y claramente lo contrario. Además, los artículos indefinidos "un" o "una", tal

15 como se utilizan en las reivindicaciones, se definen en la presente como uno o más de uno de los elementos que introducen. En caso de existir algún conflicto en los usos de una palabra o término en la presente memoria descriptiva y en una o más patentes u otros documentos que se incorporaran en la presente

20 mediante referencia, deben adoptarse las definiciones que resulten coherentes con la presente memoria descriptiva.