

COMPOSICIÓN INHIBIDORA DE INCRUSTACIONES

CAMPO

5 Las modalidades se refieren a una composición
inhibidora de incrustaciones y métodos para usar tal
composición inhibidora de incrustaciones en procesos tales
como la producción de petróleo y gas.

INTRODUCCIÓN

Un mayor problema de comprobación de flujo en
la producción de petróleo y gas (p. ej., en campos
petroleros) es el depósito de incrustaciones minerales.
15 Por ejemplo, durante la extracción de hidrocarburos de
yacimientos subterráneos, se coproduce agua que
usualmente incluye iones metálicos disueltos, lo que
puede dar como resultado una precipitación de
incrustación mineral y finalmente depósito. Las
20 incrustaciones, que típicamente son sales inorgánicas
adherentes duras de soluciones acuosas, pueden
depositarse en cualquier superficie que conduce a la
restricción del flujo dentro del yacimiento subterráneo
y/o las líneas de producción, lo que resulta en pérdida
25 de la recuperación de hidrocarburos y/o daños.

Las incrustaciones de campo petrolíferos comunes son carbonato (CaCO_3) y sulfato ($\text{BaSO}_4/\text{SrSO}_4$ y CaSO_4), que puede precipitar de salmuera/agua cuando hay cambios en condiciones termodinámicas o mezcla de aguas incompatibles en el yacimiento. Una técnica común para el control de incrustaciones es la adición de una baja concentración de un inhibidor de incrustaciones a salmuera/agua de proceso. Típicamente, estas salmueras son muy ricas en iones catiónicos multivalentes tales como calcio, magnesio, estroncio, bario y/o sodio. La salmuera con alto nivel de iones multivalentes disueltos, tales como más de 80.000 ppm, se considera como una salmuera con alto contenido de sólidos disueltos totales (TDS, por sus siglas en inglés). Para tal salmuera TDS, mientras que los inhibidores de incrustaciones aniónicos pueden interactuar con cationes en la salmuera para minimizar la formación de incrustaciones de carbonato y sulfato, esta interacción puede conducir a la precipitación de inhibidores como sales metálicas. Estas sales metálicas pueden causar taponamiento indeseable. Por ejemplo, la formación “pseudoincrustación” puede ocurrir en la punta de una boquilla de inyección debido a la incompatibilidad de una alta concentración del inhibidor de incrustaciones en salmuera/agua (tal como el efecto de concentración local).

Para determinar qué inhibidor de incrustaciones puede ser más efectivo para las salmueras específicas, el

cribado de compatibilidad de salmuera es una práctica común para evaluar diversos inhibidores de incrustaciones a concentraciones variables. Por consiguiente, se buscan nuevos inhibidores de incrustaciones para su uso en tal
5 cribado de compatibilidad en un esfuerzo por mejorar la inhibición de incrustaciones en salmuera/agua.

SUMARIO

10 Pueden realizarse modalidades proporcionando una composición inhibidora de incrustaciones que incluye un producto de reacción de una mezcla de polimerización que incluye ácido acrílico, ácido 2-acrilamido-2-metilpropano sulfónico, y una composición de metacrilato de fosfoetilo
15 que incluye al menos 10 % en peso de monoéster de metacrilato de fosfoetilo, al menos 10 % en peso de diéster de metacrilato de fosfoetilo, y al menos 5 % en peso de ácido fosfórico, basado en un peso total de la composición de metacrilato de fosfoetilo.

20

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Las características de las modalidades serán más evidentes para los expertos en la técnica al describir en
25 detalle las modalidades ilustrativas de las mismas con referencia a las figuras adjuntas, en las que:

La Figura 1 ilustra los resultados de la prueba de compatibilidad para el Ejemplo práctico 1, en una solución de salmuera con un alto contenido de TDS,

la Figura 2 ilustra los resultados de la prueba de compatibilidad para el Ejemplo comparativo A, en una solución de salmuera con un alto contenido de TDS,

la Figura 3 ilustra los resultados de la prueba de compatibilidad para el Ejemplo práctico 1, en una solución de salmuera con un muy alto contenido de TDS,

la Figura 4 ilustra los resultados de la prueba de compatibilidad para el Ejemplo comparativo A, en una solución de salmuera con un muy alto contenido de TDS,

la Figura 5 ilustra los resultados de la prueba de compatibilidad para el Ejemplo comparativo B, en una solución de salmuera con un muy alto contenido de TDS,

la Figura 6 ilustra los resultados de la prueba de compatibilidad para el Ejemplo comparativo C, en una solución de salmuera con un muy alto contenido de TDS,

la Figura 7 ilustra los resultados de la prueba de compatibilidad para el Ejemplo comparativo D, en una solución de salmuera con un muy alto contenido de TDS,

la Figura 8 ilustra los resultados de la prueba de compatibilidad para el Ejemplo comparativo E, en una solución de salmuera con un muy alto contenido de TDS, y

la Figura 9 ilustra los resultados del bucle de incrustación dinámica para el Ejemplo práctico 1, en una solución de salmuera con un muy alto contenido de TDS.

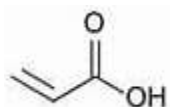
DESCRIPCIÓN DETALLADA

Las modalidades relacionadas con un inhibidor de incrustaciones para su uso con salmuera/agua tal como en productos de petróleo y gas y/u otro procesamiento de agua. En modalidades ilustrativas, puede encontrarse el inhibidor de incrustaciones a través de un cribado de compatibilidad para ser efectivo para las salmueras que tienen un contenido de TDS alto y/o muy alto (tal como mayor de 80.000 ppm). La salmuera puede ser una salmuera de campo petrolífero.

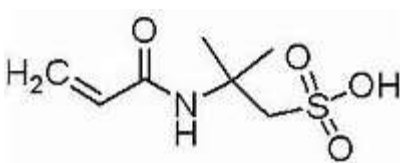
El inhibidor de incrustaciones de acuerdo con las modalidades incluye una composición inhibidora de incrustaciones que tiene un producto de reacción de una mezcla de polimerización que incluye (p. ej., que consiste esencialmente en) ácido acrílico, ácido 2-acrilamido-2-metilpropano sulfónico, y una composición de metacrilato de fosfoetilo que incluye al menos 10 % en peso de monoéster de metacrilato de fosfoetilo, al menos 10 % en peso de diéster de metacrilato de fosfoetilo, y al menos 5 % en peso de ácido fosfórico, basado en un peso total de la composición de metacrilato de fosfoetilo. La composición de metacrilato de fosfoetilo puede incluir además al menos 3 % en peso de metacrilato de metilo y al menos 3 % en peso de ácido metacrílico. La composición de metacrilato de fosfoetilo es diferente de

un PEM disponible comercialmente, en vista de la composición dentro de esta. La composición de metacrilato de fosfoetilo de acuerdo con modalidades ilustrativas, cuando se usa para preparar una composición inhibidora de 5 incrustaciones a base de terpolímero, puede dar como resultado un inhibidor de incrustaciones favorable para un cribado de compatibilidad mejorado en ciertas salmueras en comparación con un PEM disponible comercialmente. Tales ciertas salmueras pueden incluir 10 salmueras con un contenido de sólidos disueltos totales mayor que 80.000 ppm y/o mayor que 90.000 ppm.

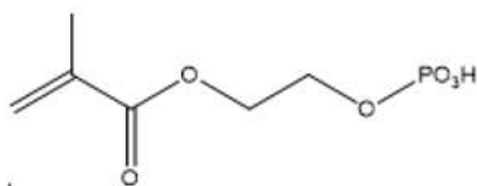
Con respecto a la composición inhibidora de incrustaciones, por ácido acrílico se entiende un material que incluye la siguiente Fórmula 1 e isómeros (p. ej., 15 estereoisómeros) de este:



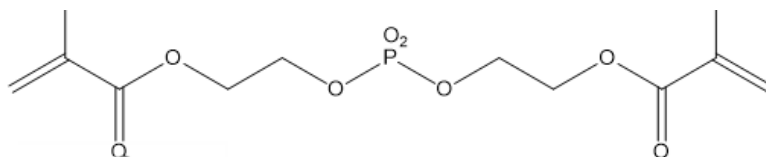
Por ácido 2-acrilamido-2-metilpropano sulfónico, 20 un material que incluye la siguiente Fórmula 2 e isómeros (p. ej., estereoisómeros) de este:



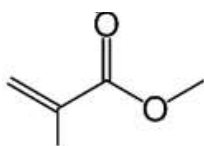
Con respecto a la composición de metacrilato de fosfoetilo, por monoéster de metacrilato de fosfoetilo se entiende un material que incluye la siguiente Fórmula 3 e isómeros (p. ej., estereoisómeros) de estos:



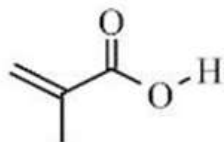
Por diéster de metacrilato de fosfoetilo se entiende un material que incluye la siguiente Fórmula 4 e isómeros (p. ej., estereoisómeros) de estos:



Por metacrilato de metilo se entiende un material que incluye la siguiente Fórmula 5 e isómeros (p. ej., estereoisómeros) de estos:

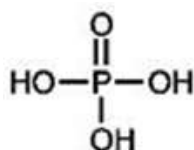


Por ácido metacrílico se entiende un material que incluye la siguiente Fórmula 6 e isómeros (p. ej., estereoisómeros) de estos:



5

Por ácido fosfórico se entiende un material que incluye la siguiente Fórmula 7 e isómeros (p. ej., estereoisómeros) de estos:



10

De acuerdo con modalidades ilustrativas, la composición de metacrilato de fosfoetilo incluye (p. ej.,
15 consiste esencialmente en) de 20 % en peso a 70 % en peso (p. ej., 25 % en peso a 65 % en peso, 30 % en peso a 50 % en peso, 40 % en peso a 45 % en peso, etc.) del monoéster de metacrilato de fosfoetilo, de 10 % en peso a 40 % en peso (p. ej., 10 % en peso a 35 % en peso, 15 % en peso a
20 30 % en peso, 15 % en peso a 25 % en peso, 18 % en peso a 20 % en peso, etc.) del diéster de metacrilato de fosfoetilo, de 5 % en peso a 25 % en peso (p. ej., 10 % en peso a 20 % en peso, 12 % en peso a 15 % en peso,

etc.) de metacrilato de metilo, de 5 % en peso a 25 % en peso (p. ej., 5 % en peso a 15 % en peso, 10 % en peso a 15 % en peso, etc.) de ácido metacrílico, y de 5 % en peso a 25 % en peso (p. ej., 10 % en peso a 20 % en peso, 15 % en peso a 18 % en peso, etc.) de ácido fosfórico, basado en el peso total de la composición de metacrilato de fosfoetilo. Con la condición de que el peso total (de los activos) en la composición de metacrilato de fosfoetilo sea 100 %.

De acuerdo con modalidades ilustrativas, la mezcla de polimerización incluye (p. ej., consiste esencialmente en) de 30 % en peso a 60 % en peso (p. ej., 35 % en peso a 55 % en peso, 41 % en peso a 54 % en peso, 45 % en peso a 50 % en peso, 46 % en peso a 48 % en peso, etc.) del ácido acrílico (basado en el peso total de activos y exclusiva de cualquier agua añadida), de 30 % en peso a 60 % en peso (p. ej., 35 % en peso a 55 % en peso, 40 % en peso a 45 % en peso, 42 % en peso a 44 % en peso, etc.) del ácido 2-acrilamido-2-metilpropano sulfónico basado en el peso total de activos y exclusiva de cualquier agua añadida), y de 6 % en peso a 19 % en peso (p. ej. 6 % en peso a 15 % en peso, 8 % en peso a 12 % en peso, 9 % en peso a 11 % en peso, etc.) de la composición de metacrilato de fosfoetilo basada en el peso total de los activos y exclusiva de cualquier agua añadida), basada en el peso total de la mezcla de polimerización. Con la condición de

que el peso total (de los activos) en la mezcla de polimerización sea 100 %.

El inhibidor de incrustaciones puede incluir y/o consistir esencialmente en la composición inhibidora de incrustaciones. El inhibidor de incrustaciones puede incluir además agua, tal como de 10 % en peso a 90 % en peso (p. ej., 25 % en peso a 50 % en peso, 35 % en peso a 80 % en peso, 45 % en peso a 80 % en peso, 55 % en peso a 75 % en peso, etc.) de agua, basado en el peso total del inhibidor de incrustaciones. La composición inhibidora de incrustaciones puede combinarse con otros inhibidores de incrustaciones en un uso final. La composición inhibidora de incrustaciones puede usarse en un proceso de producción de petróleo y gas, p. ej., puede añadirse a salmuera/agua usada en la producción de petróleo y gas. Por ejemplo, la composición inhibidora de incrustaciones puede añadirse a una salmuera (p. ej., salmuera de campo petrolífero) que tiene un contenido total de sólidos disueltos de más de 90.000 ppm (p. ej., hasta 550.000 ppm). La composición inhibidora de incrustaciones puede añadirse continuamente a una corriente de salmuera, p. ej., añadirse directamente a la salmuera (tal como fluido de producción que puede incluir petróleo crudo y salmuera). La composición inhibidora de incrustaciones puede añadirse en una cantidad efectiva, por la cual una cantidad es efectiva como inhibidor de incrustaciones. La

composición inhibidora de incrustaciones puede introducirse en una cantidad de 1 ppm a 1.000.000 ppm (p. ej., 1 ppm a 500.000 ppm, 1 ppm a 100.000 ppm, 1 ppm a 50.000, etc.)

5 La composición inhibidora de incrustaciones puede inyectarse continuamente en un equipo de producción de petróleo y gas (tal como una tubería) o en fluidos de estimulación (tales como fracturación hidráulica, fluido de estimulación de matriz, tratamiento de trabajo similar
10 a la incrustación similar a la incrustación, y refracturamiento) para controlar y/o prevenir el depósito de incrustaciones dentro del equipo. La composición inhibidora de incrustaciones puede añadirse a un yacimiento subterráneo, tal como un pozo, para controlar
15 las incrustaciones en tales procesos de producción.

Ejemplos

Los siguientes ejemplos se proporcionan para ilustrar las modalidades de la invención pero no pretenden
20 limitar su alcance. Todas las partes y porcentajes son en peso a menos que se indique de cualquier otra manera.

Preparación de inhibidores de incrustaciones

Para preparar la composición inhibidora de
25 incrustaciones, principalmente se usan los siguientes materiales:

AA	monómero de ácido acrílico (disponible de Sigma-Aldrich Corporation)
AMPS	2-acrilamido-2-metilpropano, monómero de ácido sulfónico (disponible de Sigma-Aldrich Corporation)
PEM comparativo	Monómero de metacrilato de fosfoetilo comparativo PEM con concentraciones de aproximadamente 60 a menos de 70 % en peso de poli(oxi-1,2-etanodiil), alfa-(2-metil-1-oxo-2-propen-1-il)-omega-(fosfonooxi); 15 a menos de 20 % en peso de poli(oxi-1,2-etanodiil), alfa, alfa- fosfinobis[omega- [(2-metil-1-oxo-2-propen-1-il)oxi]; 3 a menos de 5 % en peso de ácido fosfórico; 0,5 a menos de 1 % en peso de 1,4-dioxano; y 0,5 a menos de 1 % en peso de 4-metoxifenol (disponible como SIPOMER PAM-100 de Solvay)
PEM	Solución de monómero de metacrilato de fosfoetilo que incluye aproximadamente 40-45 % en peso de monoéster de metacrilato de fosfoetilo, 18-20 % en peso de diéster de metacrilato de fosfoetilo, 12-15 % en peso de metacrilato de metilo, 12-15 en peso de metacrilato de metilo, 5-15 % en peso de ácido metacrílico y 15-18 en peso de ácido fosfórico (disponible de The Dow Chemical Company o empresa afiliada)

Con referencia a la Tabla 1, las composiciones inhibidoras de incrustaciones de los Ejemplos se preparan mediante polimerización de las composiciones de la siguiente manera (basadas en los activos totales):

Tabla 1

Ejemplo	Componente/Material	% en peso
Ejemplo práctico 1	AA	47
	AMPS	43
	PEM	10
Ejemplo comparativo A	AA	47
	AMPS	43
	PEM comparativo	10

Las composiciones inhibidoras de incrustaciones se preparan de la siguiente manera. Se añade una mezcla de agua (282,7 gramos), metabisulfito de sodio (3,9 gramos) y

sulfato de hierro heptahidratado (2,4 mg) a un reactor de vidrio de fondo redondo de 4 bocas y 2 litros equipado con un agitador, un termopar, entrada de N₂ y un condensador de reflujo. Los contenidos del reactor se calentaron a 80 °C bajo una atmósfera de nitrógeno con agitación. Después, se suministra una solución de metabisulfito de sodio (19,6 gramos de metabisulfito de sodio disuelto en 30,6 gramos de agua) al reactor durante 118 minutos. Tres minutos después del inicio de la alimentación de metabisulfito de sodio, la solución de persulfato de sodio (2,5 gramos de persulfato de sodio disuelto en 30,6 gramos de agua) y la mezcla de monómeros que contiene agua (17,8 gramos), ácido acrílico (154,7 gramos), una solución de 50 % en peso de la sal de sodio de ácido 2-acrilamido-2-metil-1-propano sulfónico en agua (276 gramos), y PEM o PEM comparativo (583,2 gramos) se añaden simultáneamente al reactor durante 120 minutos. Durante las alimentaciones, la temperatura del reactor se controla a 72 °C. Se añadió una segunda carga de solución de persulfato de sodio (0,6 gramos de persulfato de sodio en 3,2 gramos de agua) se añade al reactor después de la finalización de las alimentaciones de monómero y el reactor se mantiene a 60 °C durante 5 minutos. Manteniendo la temperatura a 60 °C, se añade gota a gota al reactor 50 % de solución de hidróxido de sodio en agua (41,5 gramos) durante 15 minutos para neutralizar parcialmente el polímero. Después, el reactor se enfría a 50 °C y 30 % de

peróxido de hidrógeno en agua (2,2 gramos) se añade gota a gota al reactor. A 50 °C una segunda carga de hidróxido de sodio al 50 % en agua (36 gramos) se añade gota a gota al reactor durante 15 minutos. Después de eso, se añade agua
5 (56,6 gramos) para lograr una solución de polímero que tiene 37 % de sólidos. La solución polimérica se enfría a temperatura ambiente y se recolecta para formar el inhibidor de incrustaciones.

El Ejemplo comparativo B se prepara al mezclar
10 0,985 gramos del Ejemplo comparativo A con 0,015 gramos de metacrilato de metilo, para demostrar una diferencia en el rendimiento entre el metacrilato de metilo añadido después de la polimerización de la composición inhibidora de incrustaciones en comparación con añadido como parte de la
15 previa polimerización PEM de la composición inhibidora de incrustaciones.

El Ejemplo comparativo C se prepara al mezclar
0,998 gramos del Ejemplo comparativo A con 0,002 gramos de ácido metacrílico, para demostrar una diferencia en el
20 rendimiento entre ácido metacrílico añadido después de la polimerización de la composición inhibidora de incrustaciones en comparación con añadido como parte de la previa polimerización PEM de la composición inhibidora de incrustaciones.

25 El Ejemplo comparativo D se prepara al mezclar
0,983 gramos del Ejemplo comparativo A con 0,017 gramos de

ácido fosfórico, para demostrar una diferencia en el rendimiento entre el ácido fosfórico añadido después de la polimerización de la composición inhibidora de incrustaciones en comparación con añadido como parte de la
5 previa polimerización PEM de la composición inhibidora de incrustaciones.

El Ejemplo comparativo E se prepara al mezclar 0,966 gramos del Ejemplo comparativo A con 0,015 gramos de metacrilato de metilo, 0,002 gramos de ácido
10 metacrílico y 0,017 gramos de ácido fosfórico para demostrar una diferencia en el rendimiento de tales componentes que se añaden después de la polimerización de la composición inhibidora de incrustaciones en comparación con añadido como parte de la previa
15 polimerización PEM de la composición inhibidora de incrustaciones.

Cribado de compatibilidad

La producción de petróleo y gas y otros servicios
20 de agua puede usar un proceso de cribado de compatibilidad para calificar los inhibidores de incrustaciones para sus campos o aplicaciones específicas. Antes de la prueba de rendimiento en campo, los inhibidores de incrustaciones preseleccionados pueden ir a través de una prueba de
25 compatibilidad con el sistema de salmuera, tal como un proceso de prueba de botella. El inhibidor de

incrustaciones puede evaluarse en concentraciones que varían de 0,1 % en peso a 50 % en peso en la solución de salmuera. No pueden realizarse pruebas de rendimiento adicionales en el inhibidor de incrustaciones si el
5 inhibidor de incrustaciones candidato falla en la prueba de compatibilidad de salmuera. Tal falla puede demostrarse en fotos por la aparición de precipitación y/o turbidez con salmuera/agua. En otras palabras, si la prueba de botella resultante no produce una solución sustancialmente clara,
10 la determinación será falla (es decir, incompatible). En contraste, si la prueba de botella produce una solución sustancialmente transparente, la determinación será compatible por la prueba de botella.

La significación de la concentración variable se
15 refiere a proporcionar buenos resultados en ubicaciones variables que incluyen la punta de la boquilla de inyección donde la concentración local de inhibidor de incrustaciones puede ser extremadamente alta en comparación con corriente abajo de la adición donde el
20 inhibidor de incrustaciones se mezcla adicionalmente con salmuera/agua.

Las pruebas de compatibilidad usan una salmuera TDS alta (Salmuera 1 - TDS 94.077 ppm aproximado) y una salmuera TDS muy alta (Salmuera 2 - TDS 193.708 ppm
25 aproximado), con una composición como se muestra en la Tabla 2, a continuación.

Tabla 2

Ion disuelto, ppm	Salmuera 1	Salmuera 2
Sodio (Na^+)	24980	45685
Potasio (K^+)	361	0
Calcio (Ca^{2+})	8560	24349
Magnesio (Mg^{2+})	900	322
Bario (Ba^{2+})	225	2360
Estroncio (Sr^{2+})	457	4590
Cloruro	58060	116402
Sólidos disueltos totales, ppm	94077	193708

Antes de la prueba, la salmuera se filtra usando
5 un filtro de 0,45 micrones para eliminar cualquier
partícula extraña. Los ejemplos de inhibidor de
incrustaciones (a 37 % de sólidos) se analizan a
concentraciones variables de 0,1, 1, 10, 20 y 50 % en
peso, basado en el peso total de la salmuera y del
10 inhibidor de incrustaciones. En particular, cada solución
de salmuera e inhibidor de incrustaciones se coloca en un
vial. La mezcla resultante se somete entonces a la
agitación manual durante 30 segundos y después de eso se
registra la apariencia visual. Con referencia a las
15 Figuras 1-8, la observación visual se registra ya sea
como incompatible o compatible.

Con referencia a las Figuras 1 y 2, se muestra
para la Salmuera 1, el Ejemplo práctico 1 es compatible en
mezclas de cada uno de 0,1, 1, 10, 20 y 50 % en peso. En

contraste, el Ejemplo comparativo A muestra turbidez y/o precipitación.

Con referencia a las Figuras 3 y 4, se muestra para la Salmuera 2, el Ejemplo práctico 1 similarmente es compatible en mezclas de cada uno de 0,1, 1, 10, 20 y 50 % en peso. En contraste, el Ejemplo comparativo A muestra turbidez y/o precipitación.

Con referencia a las Figuras 5, 6, 7 y 8, las composiciones inhibidoras de incrustaciones se prueban a 0,1, 1, 10 y 20 % en peso (como se determina basado en el peso total de la composición). Con referencia a la Figura 5, el Ejemplo comparativo B muestra turbidez y/o precipitación. Con referencia a la Figura 6, el Ejemplo comparativo C muestra turbidez y/o precipitación. Con referencia a la Figura 7, el Comparativo D muestra turbidez y/o precipitación. Con referencia a la Figura 8, el Comparativo E muestra turbidez y/o precipitación.

Con la salmuera 2, la prueba de compatibilidad adicional se realiza a una concentración de 10 % en peso con inhibidor de incrustaciones que tiene cantidades variables de PEM. En particular, un ejemplo preparado usando el mismo procedimiento que el Ejemplo práctico 1, excepto que no se añade PEM, y se encuentra que el uso de una mezcla de polimerización que incluye 40 % en peso de AA y 60 % en peso de AMPS, es incompatible. Además, se encontró que un ejemplo preparado usando el mismo

procedimiento que el Ejemplo práctico 1 y usando una mezcla de polimerización que incluye 55 % en peso de AA, 40 % en peso de AMPS, y 5 % en peso de PEM, es incompatible. También, se encuentra que un ejemplo
5 preparado usando el mismo procedimiento del Ejemplo práctico 1 y usando una mezcla de polimerización que incluye 47 % en peso de AA, 33 % en peso de AMPS y 20 % en peso de PEM, es incompatible.

Prueba de bucle dinámico del inhibidor de incrustaciones

10 Un bucle de incrustación dinámica (DSL, por sus siglas en inglés) es un sistema de bloqueo de tubo para examinar la eficiencia de los inhibidores de incrustaciones contra la precipitación y el depósito de incrustaciones y otros cristales de sal en un sistema de
15 salmuera dado. La prueba simula las condiciones de campo donde la formación de incrustaciones puede ocurrir en las superficies internas de las tuberías, lo que conduce a un aumento de la presión diferencial durante el flujo o transporte. La prueba DSL es un método estándar
20 industrial, y se usa para evaluar la concentración inhibitoria mínima (MIC, por sus siglas en inglés) en condiciones dinámicas. Existen tres etapas principales involucradas en realizar el funcionamiento DSL: (i) Preparación de salmueras aniónicas y catiónicas, (ii)
25 ejecución de control sin inhibidor para calcular el tiempo en blanco y (iii) ejecución de inhibidor de

incrustaciones para evaluar la efectividad y determinar la dosis óptima del producto.

En un experimento típico, las salmueras de cationes y aniones se preparan por separado. Después, las soluciones de salmuera se filtran a través de un papel de filtro de 0,45 micrones antes de usarlos en la prueba DSL. Con referencia a la Figura 9, se usa la Salmuera 2. Para la prueba, el tiempo en blanco se determina primero manteniendo 5 ml/min salmuera de catión y de anión a través de una bobina diferencial 1M. El tiempo en blanco es el tiempo requerido para observar un aumento en la presión diferencial de 0 psi a 5 psi debido a la acumulación de incrustaciones sin la adición de inhibidor de incrustaciones. A continuación, el rendimiento del inhibidor de incrustaciones se evalúa repitiendo la prueba a concentraciones variadas de inhibidor de incrustaciones; para cada velocidad de dosis, se debe dejar que la prueba continúe durante 3x del tiempo en blanco. Se proporciona un “Aprobado” para una velocidad de dosis específica si el aumento en la presión diferencial no alcanza 5 psi. La dosis inhibidora de incrustaciones se reduce, y se continúa la prueba. La prueba se detiene cuando la presión diferencial alcanza 5 psi a veces más corta que el tiempo requerido para disminuir la dosis inhibidora de la incrustación. La concentración inhibitoria mínima (MIC) requerida para controlar la incrustación se define como la

velocidad de dosis más baja a la que se cumple el criterio de “Aprobado” (es decir, la menor concentración de inhibidor de incrustación que no permitió que la presión diferencial alcance 5 psi durante un tiempo igual o mayor de 3x del tiempo en blanco). Con referencia a la Figura 9, se realizaron pruebas DSL a 100 °C y 250 psi (presión del sistema).

Si bien lo anterior se dirige a modalidades ilustrativas, otras y otras modalidades adicionales pueden diseñarse sin apartarse del alcance básico de esta, y el alcance de esta se determina por las reivindicaciones que siguen.