

REIVINDICACIONES

1. Una optimización del proceso de inyección cíclica de vapor en yacimientos de crudos pesados mediante el uso de nanopartículas metálicas en solventes, caracterizada porque presenta las siguientes etapas:

- a. Etapa 1: Diseñar y validar experimental para determinar las mejores condiciones operacionales de la técnica, lo que incluye técnicas analíticas y cualitativas para determinar el comportamiento y las características de los fluidos y roca de formación, solvente y nanopartícula, además de pruebas fluido – fluido, roca – fluido que permiten evaluar las mejores condiciones operacionales de la técnica.
- b. Etapa 2: Determinar parámetros cinéticos a partir de análisis termogravimétrico del crudo con nanopartículas y en ausencia de ellas.
- c. Etapa 3: Diseñar el proceso de implementación de la tecnología de optimización de la inyección de vapor mediante la inyección de nanofluidos basados en nanopartículas tipo núcleo – carcasa y solventes tipo hidrocarburo.
- d. Etapa 4: Implementar el proceso de optimización de la inyección de vapor mediante la inyección de nanofluidos en campo, y
- e. Etapa 5: Desarrollar la estrategia de monitoreo del proceso de optimización de la inyección de vapor mediante la inyección de nanofluidos, para el monitoreo y seguimiento de las variables de pozo y superficie involucradas en el proceso.

2. La optimización del proceso de inyección cíclica de vapor en yacimientos de crudos pesados mediante el uso de nanopartículas metálicas en solventes de la reivindicación 1, caracterizada porque la etapa 1 comprende las siguientes fases:

- Caracterización básica: El objetivo de esta fase es determinar las propiedades fisicoquímicas (densidad, gravedad API, viscosidad dinámica) de las sustancias involucradas en el proceso (crudo, solvente y agua de formación) y las características estructurales (por medio de análisis infrarrojo), morfológicas (tamaño y forma por medio de SEM – Microscopía de barrido electrónico) y térmicas (conductividad térmica) de la nanopartícula. De igual manera, analizar las propiedades petrofísicas (porosidad, permeabilidad y mineralogía) del medio poroso empleado.

- Pruebas estáticas de la tecnología: En esta fase se determina la respuesta de variables cinéticas como energía de activación a partir de pruebas termogravimétricas, con el fin de determinar el desempeño catalítico y encontrar los tipos de nanopartículas adecuadas para la tecnología en procesos de inyección de vapor.

- Evaluar la interacción Fluido - Fluido: Inicialmente se secan las nanopartículas para retirar la humedad por un período de 3600 s a 398,15K, posteriormente se llevan a desecador por 30 min (1800 s). Se agregan los nanomateriales al solvente (nafta) y se agitan magnéticamente a 300 rpm durante 6 horas (21600 s) a 25°C (298.15 K) y finalmente se sonicán por 4 horas (14400 s) a temperatura de yacimiento, los cuales se preparan a la concentración objetivo varía entre 150 – 2000 ppm (0.15 – 2 kg/m³) con el fin de evaluar su estabilidad.

- o Seguidamente en esta fase se evalúa la compatibilidad entre la nafta mejorada con nanopartículas y los fluidos involucrados en el sistema (crudo (cuyas características se muestran en la Tabla 1) y agua de formación) por medio de pruebas de botella en relaciones 30/70, 50/50 y 70/30 en volumen nafta mejorada/sistema. Para esta evaluación las muestras se agitan durante 60 segundos, se evalúan a las 2 horas (7200 s) a temperatura de yacimiento. En el caso del crudo, se precalienta la muestra a temperatura de yacimiento (ver Tabla 2), durante 2 horas (7200 s), previo a la interacción con el nanofluido. Posterior a la interacción entre los sistemas se evalúa visualmente si se forman una o más fases, con el fin de determinar si son compatibles entre sí o si se presenta formación de emulsiones.

- o Posteriormente, se realiza el análisis de la concentración óptima de nanopartículas en términos de mejoramiento del crudo, principalmente respecto a la reducción de viscosidad y aumento de gravedad API. Para este fin se preparan nanofluidos a concentraciones de 250, 350, 500, 1000, 1500 y 2000 ppm (0.25, 0.35, 0.5, 1, 1.5, 2 kg/m³) en nafta y se pone en contacto con el crudo a una relación del 10% en volumen con el fin de evaluar los cambios del crudo con la inclusión del nanofluido. Para el caso de la gravedad API se emplea un hidrómetro el cual se sumerge en una probeta con crudo a temperatura estándar de 60°F (288.706 K). La corrección con la temperatura se realiza de acuerdo con la norma ASTM D1250. Por otro parte, la viscosidad se mide a una tasa de corte de 7,3 s⁻¹ a temperatura de yacimiento (ver Tabla 2).

- o Adicionalmente, se evalúa el comportamiento reológico de la mezcla nanofluido – crudo en relaciones 5, 8 y 10% en volumen con respecto a solo el crudo sin nanofluido, y
 - Estudio experimental Roca - Fluido: En esta fase se realizan pruebas de desplazamiento lineal en núcleos de roca a condiciones de yacimiento (coreflooding) usando las formulaciones nanopartícula - solvente que pasaron los criterios definidos durante la fase de evaluación experimental fluido-fluido.
3. La optimización del proceso de inyección cíclica de vapor en yacimientos de crudos pesados mediante el uso de nanopartículas metálicas en solventes de la reivindicación 1, caracterizada porque la etapa 2 comprende en determinar los parámetros cinéticos de la reacción de acuatermolisis mediante la recopilación de los resultados experimentales de las pruebas termogravimétricas a alta presión y espectrometría de gases de los productos de la reacción de descomposición de asfaltenos en presencia del solo crudo y del nanocatalizador (óxido de aluminio funcionalizado con níquel y paladio) adsorbido en asfaltenos, seleccionado en la etapa anterior.
 4. La optimización del proceso de inyección cíclica de vapor en yacimientos de crudos pesados mediante el uso de nanopartículas metálicas en solventes de la reivindicación 1, caracterizada porque la etapa 3 comprende evaluar el proceso y predecir a través de esto los mejores escenarios para soportar su implementación en campo, dentro de las variables evaluadas están:
 - Tasa de inyección de nanofluido/Tasa de inyección de vapor. Esta relación está directamente relacionada con la producción de crudo, a mayor tasa de inyección de nanofluido mayor producción.
 - Esquemas de inyección del nanofluido. Se analizan diversos esquemas y teniendo en cuenta la seguridad y efectividad del proceso se determina el mejor esquema consiste en un bache de inyección de nitrógeno, seguido de la co-inyección de nitrógeno – nanofluido, posteriormente, un bache de inyección de nitrógeno y finalmente el esquema convencional de 30 inyección de vapor + remojo y posterior producción.
 - Tiempo de inyección. Esta variable está relacionada con el tiempo de contacto de nanofluido – crudo, la cual no debe ser muy alta (menor a 72 horas (259200 s) para que puedan entrar en contacto rápidamente con el vapor.

- Volúmenes de aceite incrementales. Por medio de esta variable se determina el éxito de la implementación del proceso de optimización de inyección de vapor con nanofluidos, contrastándolo con la línea base de inyección de vapor convencional.
- Reducción de tasa de vapor. Se realizan análisis de cuanto se puede reducir la tasa de vapor o el tiempo de inyección con el fin de reducir la cantidad de vapor inyectado por ciclo a una producción acumulada típica de un ciclo de vapor, obteniendo reducciones de hasta el 60% de tasa de vapor convencional.
- Producción de gases de efecto invernadero para la tecnología híbrida respecto a la inyección cíclica de vapor convencional.

5. La optimización del proceso de inyección cíclica de vapor en yacimientos de crudos pesados mediante el uso de nanopartículas metálicas en solventes de la reivindicación 1, caracterizada porque la etapa 4 comprende las siguientes fases:

a. Preparación, calidad y transporte del nanofuido para inyección:

- Definir las propiedades fisicoquímicas del solvente (gravedad API y viscosidad) y transportar en camión cisterna al campo, el solvente debe estar lo más limpio posible (con el menor contenido de sólidos disueltos (0 - 900 ppm (0 - 0.9 kg/m³)).
- Almacenar la nanopartícula en un lugar lo más seco y fresco posible, para evitar aglomeración y degradación del material, y
- Realizar curva de turbidez para verificación de concentración de nanopartícula (varía entre 150 – 2000 ppm (0.15 – 2 kg/m³)) en solvente y análisis con turbidimetría por un período determinado (entre 24 -72 horas (86400 – 259200s) para medición de estabilidad del nanofuido.

b. Identificar facilidades requeridas para transporte y mezclado in situ a requerirse. En esta etapa se emplea un tanque de mezclado para la preparación del nanofuido, a este tanque se le inyecta el solvente (42 – 86 m³) el cual proviene de camiones cisterna y se adiciona en la parte superior la nanopartícula en un rango de 150 – 2000 ppm para un correcto mezclado. Posteriormente, se incluye un toma-muestra a la salida del tanque seguido de una unidad de bombeo que permite inyectar el nanofuido a la presión deseada en cabeza de pozo 30 que es 10% por debajo de la presión de fractura del pozo.

c. Preparar y adecuar el pozo inyector. El procedimiento a seguir es el siguiente:

- Suspensión de la producción del pozo para convertir en inyector el mismo.
- Iniciar de la inyección de nitrógeno por un período de 3 horas (10800 s) a una tasa de 35 inyección entre 900 - 1200 m³/h (0.25 – 0.33 m³/s).
- Co-inyectar nitrógeno (0.25 – 0.33 m³/s) y nanofluido (270 – 540 bbl (42 – 86 m³)) a una presión baja en función de no superar la presión de inyección en cabeza máxima establecida (10% por debajo de la presión de fractura del pozo). Inyectar por un período de 18 horas (64800 s) alcanzando el volumen total que se requiere inyectar de nanofluido.
- Inyectar un bache de nitrógeno 900 - 1200 m³/h (0.25 – 0.33 m³/s) por un período de una hora (3600 s) por temas de seguridad del proceso.
- Iniciar inyección de vapor convencional con 10000 MMBTU (1.055×10¹³ J) con posterior cierre para remojo por un período de tres días y puesta en producción, y
- Realizar la caracterización fisicoquímica y estructural (viscosidad, densidad, contenido de asfaltenos por medio de análisis SARA) de los fluidos producidos y monitoreo a la producción de crudo posterior al tratamiento para evaluar el avance del proceso e identificar posibles anomalías durante el levantamiento de la bomba como emulsiones, alta producción de gas, baja tasa de líquido, entre otras.

6. La optimización del proceso de inyección cíclica de vapor en yacimientos de crudos pesados

mediante el uso de nanopartículas metálicas en solventes de la reivindicación 1, caracterizada porque la etapa 5 comprende las siguientes fases:

- Asegurar temperaturas bajas (5K por debajo de la temperatura de autoignición del solvente) en el proceso para evitar riesgos de explosión, mediante termocuplas en facilidades.
 - Identificar la presión de entrada del sistema de levantamiento, mediante Manómetros en cabeza de pozo y sensor a lo largo del pozo.
- Asegurar la concentración objetivo (150 – 2000 ppm (0.15 – 2 kg/m³)) de nanopartículas en el solvente previo a la inyección del nanofluido mediante Turbidimetría.
- Asegurar la estabilidad del nanofluido previo a la inyección del mismo en pozo (mínimo de
 - 24 horas – 86400 s), mediante turbidimetría.
- Identificar la presencia de nanopartículas en crudo y agua para verificar tiempo de residencia en el proceso, mediante análisis de metales (aluminio, níquel y paladio) mediante espectroscopía.

- Determinar el patrón característico del agua de yacimiento con el fin de realizar un seguimiento evaluando los posibles cambios debido al proceso, mediante análisis iónico y cuantitativo de metales (aluminio, níquel y paladio).
- Determinar el mejoramiento del crudo producto del proceso, evaluando la calidad del crudo antes y después de la inyección de nanofluido, mediante Análisis elemental, análisis SARA y gravedad API, y
- Evaluar el comportamiento de las fracciones coloidales bajo la influencia del nanofluido para predecir la estabilidad del crudo, es decir, la tendencia de los asfáltenos a precipitarse, mediante la estabilidad coloidal y distribución de tamaño de partícula.