

REIVINDICACIONES

1. Un proceso de combustión húmeda con inyección de aire y agua para el recobro de yacimientos de crudos extra-pesados profundos con gas en solución y reducción de generación de gases efecto invernadero, caracterizado por que comprende las siguientes etapas:

a. Diseñar y validar el proceso experimental de la combustión húmeda a escala de laboratorio a condiciones de yacimiento, que comprende las siguientes sub-etapas:

- Diseñar y ejecutar pruebas de tubo de combustión a condiciones de yacimiento (temperaturas entre 304 y 644 K y presiones entre 6895 y 24132 kPa) para determinar si una vez inicia la co-inyección de aire y agua el frente de combustión continúa desarrollándose en régimen de alta temperatura (HTO) que se desplace uniformemente hacia un punto de drenaje (Pozo productor).
- Muestreo sistemático de líquidos y gas durante la realización de la prueba de tubo de combustión para la caracterización de crudos y cromatografía de gases, y evaluar el cambio en sus propiedades fisicoquímicas (gravedad API, Ph, H₂S, entre otras) en comparación con el proceso de combustión seca.

b. Diseñar el proceso de implementación de la combustión húmeda mediante modelos analíticos y numéricos que comprende las siguientes sub-etapas:

- Optimizar la relación agua inyectada por metro cúbico de aire inyectado por ciclo.

- 5 • Optimizar tasa de inyección de agua por día deseada (barriles por minuto) para no exceder presión de fractura en cara de formación y taponamiento del pozo inyector.
- 10 • Definir reacciones químicas de acuatermólisis e hidrólisis producto de la inyección de agua, donde su estequiometría es estimada de pruebas experimentales de análisis elemental CHNOS (carbono, hidrogeno, nitrógeno, oxígeno, azufre) realizadas para el yacimiento en estudio. La validación de estas se ajusta a la producción de H_2S obtenida en el proceso de combustión seca y realizar las predicciones para el proceso húmedo.
- 15 • Estimar disminución en la relación gas producido/líquido producido (GLR) por pozo debido al remplazo de volúmenes de aire por volúmenes de agua y en función de ello estimar que valores se aumenta la capacidad de extracción por cada pozo sin sobrepasar el GLR máximo de operación de los sistemas de levantamiento artificial (ESP).
- 20 • Cuantificar volúmenes de aceite incrementales a recuperar por la implementación del proceso húmedo en comparación con la línea base que sería el modo seco.
- Estimar cambios en la velocidad de avance del frente de combustión y valores de temperatura a registrarse en los pozos observadores por la implementación del proceso húmedo.
- Cuantificar si la relación aire inyectado/combustible generado permanecerá constante entre los dos modos de inyección (seco & Húmedo) reproduciendo lo observado en las pruebas experimentales y

- 5 asegurando la representatividad de un único modelo cinético para el ajuste histórico del proceso en ambos modos de combustión.
- c. **Implementar el proceso de combustión húmeda en campo que comprende las siguientes sub-etapas:**
- 10 • Definir las posibles fuentes de agua de inyección mediante Realizar Pruebas de compatibilidad agua de inyección - agua de la formación y agua de inyección - roca de formación
- Realizar análisis fisicoquímicos de contenido de hierro, contenido de sólidos suspendidos, turbidez y contenido de grasas y aceite al agua de inyección para almacenarla e inyectarla en las condiciones de limpieza deseadas.
- Adecuar facilidades de inyección, sistemas de filtrado y unidad de bombeo.
- 15 • Preparar y adecuar el pozo inyector. Para ello se establece un procedimiento para preparar el pozo, y bombear los fluidos requeridos para realizar la inyección alternada en el pozo inyector. El procedimiento es el siguiente:
- o Suspender la inyección de aire mediante la reducción gradual de la tasa de inyección de aire hasta llegar al apagado de trenes de compresión.
- 20 o Inicio de la inyección de agua a tasas de inyección entre 0.159 m³ por minuto (MPM) a 0.477 MPM hasta no superar la presión de inyección en cabeza máxima establecida.

- 5
 - o Retomar la inyección de aire, con volúmenes pequeños e incrementos moderados en función del aumento de la presión de inyección hasta llegar a la tasa de inyección original antes de iniciar el proceso de inyección de agua.
 - o Repetir el proceso descrito anteriormente por el número de ciclos establecidos.
- 10
 - Adecuar los sistemas de levantamiento de los pozos productores. Esto se realiza previo a la inyección de aire/agua y al inicio de la inyección de aire en el modo de combustión seco. Se deben seguir las siguientes recomendaciones:
 - o Instalar configuraciones mecánicas en fondo de pozo productor que contribuyan a la separación de gas libre, previo a la entrada del fluido a la Bomba Electro Sumergible (BES).
 - o Acondicionar los sistemas anulares entre el pozo y el revestimiento para producir el gas por este medio y los líquidos por la tubería de producción.
 - 15
 - o Trabajar con los modos de operación disponibles del variador de frecuencia de los sistemas de levantamiento artificial que mejor apliquen según la condición del flujo, como son: control corriente, control presión a la entrada de la bomba o control frecuencia.
 - o Chocar las válvulas de cierre dependiendo de la alta o baja relación de producción gas/líquido que se presente en el pozo, a medida que se implementen los ciclos de inyección.
 - 20
 - o Consultar la caracterización fisicoquímica (mencionada en tabla 4) de los fluidos que se realizan diariamente en el laboratorio para incorporar esta información, junto con las pruebas de

- 5 producción en la toma de decisiones para identificar las causas de las anomalías en el levantamiento de la bomba: alta viscosidad, emulsiones, alta producción de gas, baja tasa de líquido, entre otras.
- o Utilizar reductores de viscosidad comerciales, en fondo y superficie para mejorar la movilidad del crudo viscoso.
- 10 d. **Metodologías de monitoreo del proceso de combustión húmeda que comprende las siguientes sub-etapas:**
- Adquisición y acondicionamiento de equipos y herramientas (fibra óptica, sensores de presión, termocuplas, entre otros) en los pozos de inyección, observadores, productores y facilidades de superficie.
- 15 • Monitorear temperatura, presión y tasa de inyección de aire y agua en pozo inyector.
- Controlar aumentos y disminución en la tasa de inyección de aire y agua.
- Asegurar temperaturas menores a 448 K en la cara del pozo inyector, presión mínima de inyección, integridad de la tubería y eficiencia operativa de los compresores.
- 20 • Monitorear temperaturas, presión en fondo y cabeza de pozo, inyección de química y condiciones operativas de la bomba en pozos productores para garantizar el levantamiento de fluidos.

- 5
 - Ejecutar la inyección de inhibidor de corrosión, secuestrante de H_2S , paquetes deshidratadores y rompedores de emulsión en pozos productores.
 - Monitorear temperaturas y presión en cabeza de pozo, en pozos observadores.
 - Monitorear cromatografía, volúmenes de producción y análisis fisicoquímicos de los fluidos producidos en los pozos productores.
- 10
 - Establecer líneas de tendencia de corrosión y afectación a la integridad en pozos y equipos de superficie mediante cupones de corrosión
 - Implementar tratamientos para el manejo y remoción de H_2S antes de producción de gases a la atmósfera.
- 15
 - e. **Metodologías y modelos contruidos para la evaluación del desempeño del proceso de combustión húmeda que comprende las siguientes sub-etapas:**
 - Evidenciar incrementos en la temperatura censada por la fibra óptica y termocuplas de los pozos observadores, en comparación con la línea base de la combustión seca.
 - Cuantificar producción incremental de aceite por la implementación del proceso. Cotejándose con los modelos de simulación numérica ajustados para predecir la línea base de combustión seca.

- 5
 - Evaluar mejoramiento de la eficiencia del proceso, en relación con el aire requerido para incrementar un barril de aceite (AOR). Mediante el cálculo de la producción incremental producida durante el periodo de tiempo específico y la tasa de aire inyectada en el mismo periodo.
 - Desarrollar estimaciones de requerimiento de energía eléctrica (Julios) para comprimir e inyectar el aire /agua en superficie.
- 10
 - Estimar la relación de átomos de hidrógeno / átomos de carbonos (H/C) producidos, con base en la producción de gases de dióxido y monóxido de carbono y su composición y compararlos contra los obtenidos en modo seco.
 - Determinar a partir de la relación estimada de H/C el régimen predominante en el frente de combustión desarrollado.
- 15
 - Evaluar la estabilidad del frente y su direccionamiento hacia los pozos productores, mediante el monitoreo diario y en tiempo real la información de temperatura entregada por la fibra óptica y termocuplas de los pozos observadores que involucra el proceso.
 - Estimar la posición y avance del frente de combustión apoyándose en la toma de registros sistemáticos de perfil sísmico en pozos con fibra óptica
- 20
 - Evaluar el funcionamiento de los sistemas de levantamiento artificial por bombeo de electro sumergibles (BES).

- 5 • Desarrollo de metodología haciendo uso de herramientas de simulación numérica de yacimientos para ajustar y predecir con base en las presiones de inyección en cabeza de pozo, las presiones de inyección de agua y aire registradas en cara de formación y así garantizar la integridad de la roca y el reservorio y evitar daños del pozo inyector debidos al proceso de combustión húmeda.
2. El proceso de la reivindicación 1, caracterizado porque la etapa **d** se realiza acciones para desarrollar una
- 10 metodología de modelado analítico que permita estimar la reducción de emisiones de gases invernadero en facilidades y en fondo de pozo, por el remplazo de 2 días a la semana del agente de inyección de aire por agua.
3. El proceso de la reivindicación 1, caracterizado porque la etapa **e**, debe desarrollar modelos que permitan evaluar y optimizar la producción de H_2S debido a las reacciones de hidrólisis y acuatermólisis que generaran
- 15 mayor producción de este gas en el modo húmedo comparado con el modo seco.