

METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE BACHES EN UN PROCESO DE INYECCIÓN DE POLÍMEROS PARA RECOBRO MEJORADO, CONSIDERANDO FENÓMENOS DE INTERACCIÓN ROCA/FLUIDOS.

Ana María Jiménez Molano^{1*}, Samuel Fernando Muñoz Navarro², Robinson Jiménez Díaz³

* A quien debe dirigirse la correspondencia.

RESUMEN

La inyección de polímeros es un proceso de recobro mejorado que fue desarrollado para realizar mejoras en la inyección de agua convencional. Esta técnica se enfoca en el aprovechamiento de la viscosidad, propia de las soluciones poliméricas para controlar la movilidad de los fluidos en la formación, con el fin de lograr un barrido más uniforme del yacimiento y a su vez lograr un mayor desplazamiento de petróleo.

Debido a la necesidad de aumentar las reservas de hidrocarburos mediante el uso de estrategias para optimizar la producción de los campos, la implementación de este proceso se hace atractivo en yacimientos sometidos a inyección de agua con resultados desfavorables; sin embargo, para que sea exitosa su aplicación, el diseño del bache de polímero a ser inyectado juega un papel fundamental, ya que la naturaleza del flujo en medios porosos e interacciones roca-fluido conducen a la disminución de la eficacia del bache con una consecuente reducción en la eficiencia del proceso, razón por la cual los volúmenes a inyectar deben ser apropiadamente ajustados para tolerar pérdidas y/o cambios de concentración y aun así conservar sus propiedades fisicoquímicas para cumplir con el objetivo para el cual fue diseñado. Por lo anterior, la comprensión de estos fenómenos son consideraciones claves para el diseño del bache en estos procesos, procurando que éste se mantenga durante un cierto periodo mínimo de flujo aceptable.

El presente artículo se enfoca en el desarrollo de una metodología para el diseño de baches en procesos de inyección de polímeros, basada en el análisis de los fenómenos de interacción roca-fluidos presentes en el medio poroso. Fue orientada inicialmente en la realización de una herramienta computacional útil para el pre-diseño del bache, la cual involucra modelos analíticos que incorporan éstos fenómenos, con el objetivo de sensibilizar variables inherentes al diseño del bache y observar el comportamiento de la concentración de un fluido inyectado en el yacimiento en función del tiempo y de la distancia y su afectación con los fenómenos de interacción presentes en el yacimiento.

Seguidamente, ya que los modelos analíticos no contemplan a la vez todos los fenómenos de difusión, dispersión y adsorción en la roca, se desarrolló un modelo de simulación (*sector model*) en la plataforma STARS de CMG Ltda, la cual permite modelar proyectos de inyección de químicos, donde se consideraron los resultados obtenidos con la herramienta informática desarrollada, con el fin de realizar un análisis de sensibilidad de los parámetros operacionales que influyen en el diseño del bache. A partir del análisis de

1. Grupo de investigación recobro mejorado, Escuela de Ingeniería de Petróleos, Universidad Industrial de Santander, UIS, Carrera 27 calle 9, Bucaramanga, Colombia.

2. Grupo de investigación recobro mejorado, Escuela de Ingeniería de Petróleos, Universidad Industrial de Santander, UIS, Carrera 27 calle 9, Bucaramanga, Colombia.

3. Instituto Colombiano del Petróleo, ICP, Ecopetrol, Vía Piedecuesta # Km7, Piedecuesta, Colombia.

estas variables, y considerándose como unidad de análisis el factor de recobro, las tasas de producción de los fluidos producidos, velocidad de avance, eficiencia de barrido y cortes de agua, se pueden determinar las mejores condiciones operacionales del proceso. Una vez se determinan las mejores condiciones operacionales para el diseño del bache las cuales son: concentración, caudales de inyección y tiempos de inyección, se procede a ser incluidas en el modelo de simulación para el análisis de los resultados finales.

Finalmente, los resultados obtenidos permitieron plantear una metodología para el diseño de baches en procesos de inyección de polímeros con el desarrollo de una herramienta computacional útil para el pre-diseño del bache, la cual involucra modelos analíticos como son: ley de Fick, modelo de Perkins, modelo de Warren, método de Bentsen y modelo de El-Khatib que tienen como base principal los fenómenos de interacción roca-fluidos presentes en el medio poroso y posteriormente empleando simulación numérica de yacimientos como herramienta de validación de los resultados obtenidos.

Palabras clave: Inyección de polímeros, bache de polímero, modelos analíticos, simulación numérica, metodología.

METHODOLOGY FOR SLUG DESIGNING DURING POLYMER INJECTION PROCESS, TAKING INTO ACCOUNT THE ROCK-FLUID INTERACTION WITHIN THE POROUS MEDIA

ABSTRACT

Polymer Injection is an enhanced recovery process meant to improve conventional water flooding. This technique takes advantage of polymer's solution viscosity to control fluids formation mobility and generate an uniform reservoir coverage, resulting in a better oil displacement.

Due to actual needs of increasing hydrocarbon reserves through production optimization strategies, implementing this process is attractive in water flooding fields where recovery of hydrocarbon has not met expectations. To increase the probability of success, it is critical for the process, designing the right slug to be injected, since the nature of flow through porous media is governed by fluid- rock interaction that may affect flooding efficiency. The pill has to be big enough to withstand loss or change of polymer concentration preserving physical and chemical slug properties during the process. Understanding this phenomenon during design stages is very important to ensure acceptable flow during minimum required time.

This paper develops a methodology to design polymer slugs during a chemical injection process based on rock-fluid interactions phenomena in porous media, starting from a computerized tool during pre-design stage, involving analytical models available through a sensitivity analysis of the design parameters and observe behaviours of the polymer concentration on the injected fluid as a function of time and length; and how interaction phenomena within reservoir affects its performance.

Additionally, since analytical models do not take into account all diffusion, dispersion and adsorption phenomena on the rock, a simulation model (sector model) was developed on the STARS platform from CMG Ltd. to model chemical injection projects, where obtained results from computerized tools are processed through a sensibility analysis of operational parameters that affect the process. Considering Recovery factor analysis, production rates, water front velocity, flooding efficiency and water cut, the optimized operational conditions can be obtained. Once the best operational conditions for design concentration, injection rate and time are encountered, the next step is to include them in the simulation model for final analysis.

Finally, obtained results allowed establishing a methodology to design slugs during polymer injection using a computerized tool to pre- design the slug, that involves analytical models such as Fick law, Perkins model, Warren model, Bentsen method and El- Khatib model which are based on the rock- fluid interaction within the porous media and finalising with a reservoir numeric simulation to validate the results.

Keywords: Polymer injection, polymer slug, analytical models, numeric simulation, methodology.

INTRODUCCIÓN

Al llevar a cabo un proyecto de inyección de polímeros es importante diseñar adecuadamente el bache a ser inyectado, debido a que la naturaleza del flujo en medios porosos e interacciones roca-fluido conducen a la disminución de la eficiencia del proceso. Dichas pérdidas químicas y cambios en la composición, significan que el tamaño del bache del polímero inyectado, debe diseñarse de tal forma que funcione eficazmente a pesar de las pérdidas a las que es sometido.

Es por esto que el presente artículo se enfoca en desarrollar una metodología para el diseño de baches en procesos de inyección de polímeros con el uso de una herramienta computacional útil para el pre-diseño del bache, la cual involucra modelos analíticos que tienen como base principal los fenómenos de interacción roca-fluidos presentes en el medio poroso y posteriormente empleando simulación numérica de yacimientos con el fin de determinar el diseño final del bache.

MODELOS ANALÍTICOS PARA INYECCIÓN DE POLÍMEROS

El diseño de procesos de inyección de polímeros involucra variables importantes, como el tipo de químico a inyectar, concentración y tamaño del bache, y parámetros operacionales que se pueden determinar a partir de análisis de sensibilidad por simulación numérica, y/o con ayuda de modelos analíticos, que den una aproximación al comportamiento del proceso en el medio poroso. Los modelos analíticos definen un sistema con ecuaciones que pueden resolverse para diferentes valores de las variables introducidas y así predecir el comportamiento de un sistema, con lo cual se convierten en una herramienta preliminar de predicción del comportamiento de un fenómeno, que para el caso particular de este estudio se trata del bache de polímero.

Según Osorio (2002, 99) en la industria del petróleo y específicamente en el estudio del flujo de fluidos en medios porosos, como es el caso de procesos de inyección de polímeros, se han desarrollado modelos analíticos para fines investigativos, de simulación de yacimientos, y para fines comparativos con modelos físicos que logren desarrollar nuevos modelos que determinen las variables más influyentes en un fenómeno estudiado.

Los modelos propuestos más representativos referenciados en la literatura, fueron seleccionados en

función de su utilidad y aporte en el diseño del bache en procesos de inyección de polímeros, ya que involucran fenómenos presentes como dispersión, difusión y adsorción, propios del flujo de fluidos en medios porosos.

Los modelos seleccionados son:

- Ley de Fick
- Modelo de Perkins, 1962
- Modelo de Warren, 1963
- Método de Bentsen, 1965
- Modelo de El-Khatib- 2010

Las fortalezas y debilidades de los modelos estudiados se identificaron a partir de las suposiciones que se tenían en cuenta, la estructura del modelo, la utilidad, el contexto, y la influencia en el diseño de un bache.

HERRAMIENTA COMPUTACIONAL SLUPOL

La comprensión de los fenómenos de interacción roca-fluido son consideraciones importantes para el diseño del bache en estos procesos, procurando que éste se mantenga durante un cierto periodo mínimo de flujo aceptable asociado al recobro adicional de petróleo que puede obtenerse con el mismo. Es por esto que se estudió cómo se ve afectado el diseño del bache por los fenómenos de interacción roca-fluidos presentes en el medio poroso.

Por tal motivo, los modelos analíticos de los autores anteriormente mencionados, serán la base para llevar a cabo los análisis correspondientes al diseño de un bache de polímero, a partir del entendimiento del grado de influencia de las variables que afectan éste fenómeno.

Este enfoque fue tenido en cuenta para el desarrollo de la herramienta computacional denominada SLUPOL (por sus siglas en inglés *slug polymer*), útil para el estudio del diseño del bache en función del tiempo y del espacio, donde se incluyen los modelos analíticos identificados y seleccionados a partir de su versatilidad, uso, consideraciones y representatividad de los resultados. En la figura 1 se muestra la pantalla de presentación de la aplicación.

Cuando se ingresa a la aplicación, se presenta el marco de trabajo principal como se observa en la figura 2. En la parte superior se encuentran los botones de acceso a cada uno de los modelos.



Figura 1. Pantalla de presentación de SLUPOL 1.0.

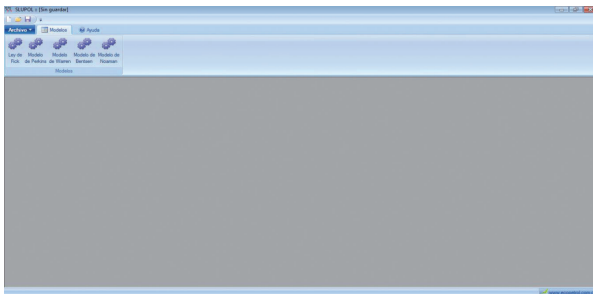


Figura 2. Marco de trabajo SLUPOL 1.0.

Al seleccionar los diferentes modelos del menú principal se despliega un formulario donde se solicitan los principales datos correspondientes al campo que se desea analizar, incluyéndose los resultados correspondientes a pruebas de laboratorio, con el fin de llevarse a cabo las respectivas sensibilidades con los diferentes modelos incluidos. Los principales datos son:

- Concentración inicial del polímero
- Coeficiente de difusión
- Coeficiente de dispersión
- Coeficiente de dispersión longitudinal
- Coeficiente de adsorción
- Número de Peclet
- Porosidad
- Tiempo de evaluación
- Distancia entre pozos
- Tasa de inyección del polímero
- Espaciamiento entre pozos

Al ejecutarse cada uno de los modelos se presentan los resultados de forma tabular y gráfica, donde se puede determinar el avance del bache y el comportamiento de

la concentración en el tiempo, tal como se presenta en las figuras 3 y 4 para el caso particular del modelo de Bentsen.

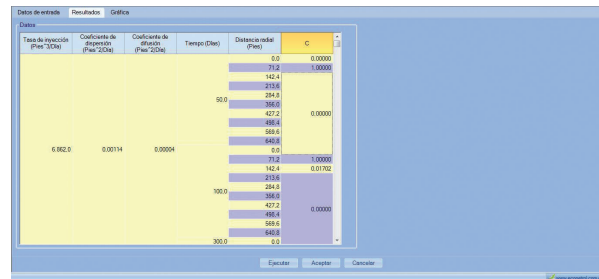


Figura 3. Tabla de resultados modelo de Bentsen

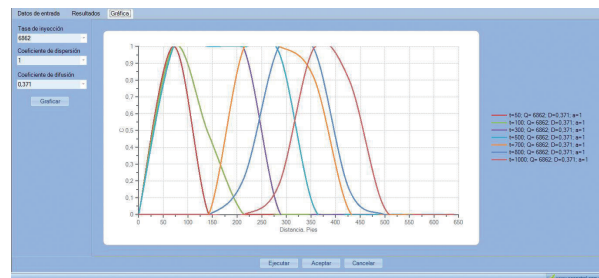


Figura 4. Gráfica de resultados modelo de Bentsen

Es importante resaltar que a partir de estos análisis de sensibilidad se logra determinar un rango de valores de concentración inicial del polímero, tasa de inyección, tiempos de inyección, y tamaño del bache, para posteriormente llevar estos rangos a simulación numérica y realizar un análisis más detallado sobre el comportamiento del factor de recobro, producción de aceite y de agua, dando como resultado un pre-diseño del bache a ser inyectado.

MODELO BASE DE SIMULACIÓN DE UN CAMPO COLOMBIANO

El modelo de simulación correspondiente a un patrón candidato a inyección de polímeros perteneciente a un campo colombiano fue construido con el fin de realizar un análisis de sensibilidad de los parámetros operacionales que influyen en el diseño del bache, en el cual se consideraron los resultados obtenidos con la herramienta informática desarrollada. En la Figura 5 se presenta el modelo.

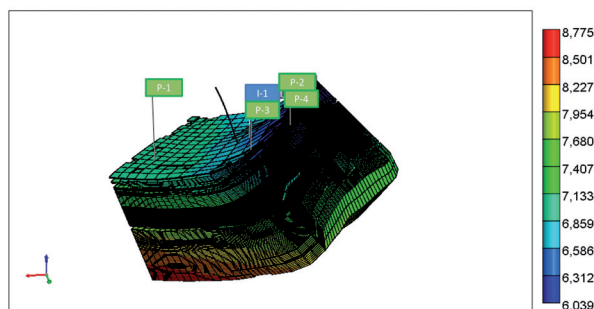


Figura 5. Configuración del patrón en el grid de simulación (caso base) – Profundidad.

El patrón correspondiente al pozo inyector I-1, está conformado por los pozos productores P-1, P-2, P-3 y P-4. El pozo I-1 inicialmente fue productor desde marzo de 2007, sin embargo en junio de 2010 fue convertido a inyector de agua, creando afectación directa con los pozos productores de primera línea. En la tabla 1 se presenta la distancia de los pozos productores al inyector y la fecha de inicio de producción de los pozos involucrados.

Los resultados correspondientes a la etapa de producción primaria y secundaria de este patrón corresponden a un periodo de tiempo desde el 1 de abril de 1962 hasta el 6 de marzo de 2014, fecha en la cual se inicia el proyecto de inyección de polímero en el campo.

Tabla 1. Características de los pozos del patrón I-1

Productor	Distancia (m)	Fecha de inicio de producción
P-1	238	Abril 1962
P-2	197	Junio 2006
P-3	214	Agosto 2006
P-4	222	Marzo 2007

Con cada uno de los métodos analíticos se llevó a cabo el análisis correspondiente de acuerdo a las condiciones del campo de estudio. De allí se determinó que los modelos de Warren, Bentsen y Noaman permiten determinar rangos para algunas variables operacionales incidentes en el diseño del bache donde se encuentra el mejor comportamiento de la concentración en función del tiempo y de la distancia. Posteriormente, los resultados obtenidos con cada uno de ellos, fueron considerados para generar un escenario en CMOST donde se involucraran todas las consideraciones observadas.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se determinaron los rangos presentados en la tabla 2 donde se mantuvieron ciertos límites que encerrarán lo observado según los autores. Los valores correspondientes al caso base se presentan sombreados en color celeste.

Una vez se lleven a cabo las sensibilidades en CMOST, de acuerdo a lo expuesto en la tabla anterior, se selecciona el mejor de los escenarios generados para posteriormente sensibilizarse el tiempo de inyección del agua post-bache, como se observa en la tabla 3.

Con el rango de cada parámetro establecido, se procedió a definir el muestreo de “Latin Hypercube” siendo este el método más robusto programado con el fin de generar el valor óptimo de la función, donde se generaron 8 combinaciones con los parámetros a sensibilizar, que muestren un efecto positivo y negativo en el desarrollo del modelo del proceso.

Tabla 2. Rangos determinados a partir de los modelos analíticos

Variable	Valores análisis		Valor base
Polímero			
Tasa de inyección polímero, Bbl/d	1159	1300	1513
Concentración, ppm	750	800	625
Concentración, fracción molar	1,8E-06	2,2E-06	1,4E-06
Tiempo de inyección del polímero, meses	18		
Volúmenes porosos inyectados, VP	0,25	0,28	0,33
Agua posterior			
Tasa de inyección de agua, Bbl/d	1618	1724	1513
Restauración inyektividad (%)	92	98	86
Volúmenes porosos inyectados, VP	1,051	1,120	0,98
Tiempo de inyección de agua- post bache, meses	55		

Las funciones objetivo determinadas fueron producción de aceite acumulado y producción de agua acumulada, sobre las cuales se podrá ver la influencia que tienen las variables expuestas en la tabla 2 sobre el proceso de inyección de polímeros.

Tabla 3. Rangos determinados para el tiempo de inyección del agua post-bache a partir de los modelos analíticos

Variable	Caso base	
Tiempo de inyección de agua- post bache, meses	45	55 50

De acuerdo a las permutaciones generadas y a los resultados mostrados en los diagramas tornado se determinó que los mejores casos en orden de priorización son: caso 6 y caso 3, los cuales fueron seleccionados buscando el que mejor acumulado de petróleo presentara y a su vez una mayor reducción en la producción de agua. En la tabla 4 se observan los parámetros de cada uno de ellos.

Tabla 4. Mejores casos determinados a partir de CMOST

# Caso	6	3
Concentración polímero, ppm	800	750
Tasa de inyección del polímero, Bbl/d	1159	1159
Tasa de inyección del agua post-bache, Bbl/d	1618	1618

La comparación de los dos casos a diferentes tiempos de post bache se presentan a continuación en la tabla 5, con el fin de que sea posible seleccionar el que presente las mejores condiciones sobre el comportamiento del proceso.

Tabla 5. Resultados para los casos 3 y 6.

NP	CASO 3	CASO 6
@ 1350 Días	6740340 BbL	6821080 BbL
@ 1500 Días	6863940 BbL	6870190 BbL
@ 1650 Días	6977980 BbL	6984480 BbL

De acuerdo a los resultados previos se determina que el mejor escenario corresponde al caso 6, con lo que se puede inferir que tener mayores condiciones de concentración del polímero genera cambios positivos sobre el comportamiento del proceso, sin embargo, es una premisa con la cual hay que ser prudente, ya que aumentar la concentración indefinidamente puede traer como consecuencias taponamientos en la cara de la formación y adicionalmente puede dejar de ser económico, por lo cual se recomienda realizar una evaluación económica de llevar a cabo ésta inversión.

METODOLOGÍA DE APLICACIÓN PARA EL DISEÑO DEL BACHE EN UN PROCESO DE INYECCIÓN DE POLÍMEROS

La metodología propuesta para el diseño del bache en un proceso de inyección de polímeros parte del estudio de modelos analíticos y simulación numérica tal como se expuso anteriormente, sin embargo en la figura 6 se presenta el esquema general propuesto. Todo el proceso puede ser agrupado en siete etapas como se relaciona a continuación.

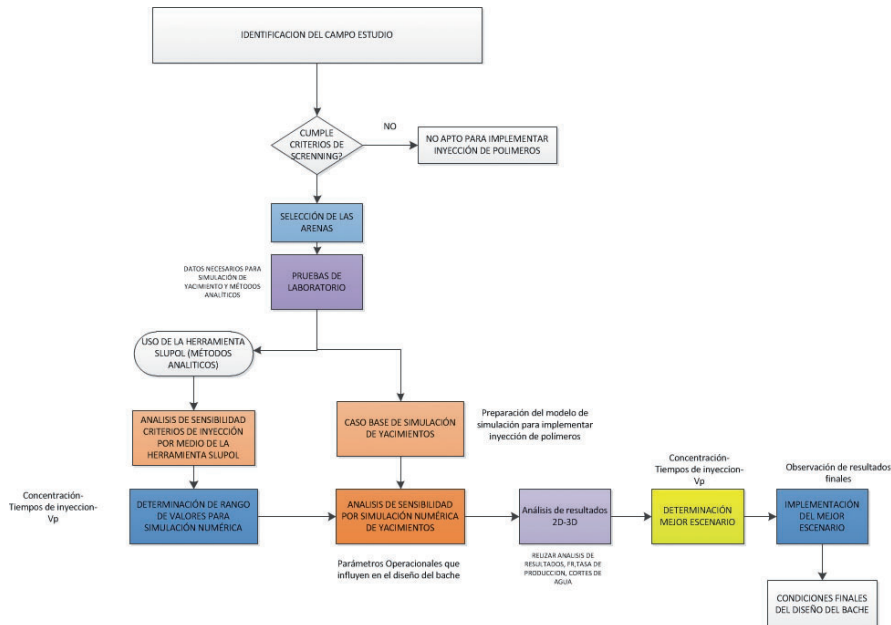


Figura 6. Metodología para el diseño del bache

1. Análisis por medio de *screening* y analogías para determinar los métodos de recobro candidatos a ser aplicados al campo de estudio, de ser posible llevarse a detalle de la formación de interés.
2. Si las características del campo cumplen con los criterios de un proceso de inyección de polímeros, se procede a la selección de las áreas de interés y las zonas con mejores condiciones y potencial de recuperación.
3. Pruebas de laboratorio y preparación del modelo de simulación para el proceso de inyección de polímeros.
4. Suministro de datos a la herramienta SLUPOL y análisis de sensibilidad con los métodos analíticos.
5. Análisis de sensibilidad en el modelo de simulación, partiendo de los resultados obtenidos con la herramienta SLUPOL.
6. Determinación del mejor escenario y sus condiciones.
7. Implementación de las mejores condiciones y determinación de las características del bache (concentración, tamaño del bache de polímero) y tamaño del bache de agua posterior.

CONCLUSIONES

Los fenómenos de difusión y dispersión presentes en un proceso de inyección de polímeros, generan cambios representativos en el comportamiento del perfil de concentración durante el desarrollo del proceso principalmente con la distancia, el tiempo y las tasas de inyección.

De la revisión de los modelos analíticos se observó que el modelo de Bentsen es el modelo más efectivo para realizar el análisis y determinar las condiciones operacionales del pre-diseño del bache, debido a que permite estudiar tanto la etapa de inyección del polímero como el desplazamiento del mismo con agua, adicionalmente involucra los fenómenos de difusión y dispersión y sus resultados son útiles en el análisis del comportamiento del bache.

De acuerdo al análisis realizado utilizando la herramienta CMOST se determinó que las variables más influyentes en un proceso de inyección de polímeros son la concentración y los volúmenes porosos inyectados tanto del polímero como del agua posterior, logrando así un punto de referencia de los parámetros que influyen en el diseño del bache.

El parámetro operacional más influyente es la concentración del polímero, debido a que afecta directamente la viscosidad del fluido inyectado, el cual permite que la relación de movilidades disminuya y a su vez genere un efecto positivo sobre la eficiencia de barrido, sin embargo, es importante considerar que emplear altas concentraciones puede generar taponamientos en la cara de la formación, lo cual es necesario validar desde el punto de vista técnico.

El efecto del caudal de inyección de polímero en el desempeño del proceso está influenciado por el valor mínimo empleado en el análisis, ya que la viscosidad del polímero se mantiene más estable a bajas tasas de inyección, debido a que lo que afecta sensiblemente la viscosidad son los efectos de shear rate en accesorios, líneas y completamientos.

El efecto del caudal de agua posterior está influenciado por el valor mínimo empleado en el análisis, ya que con el uso de tasas moderadas se evita el fenómeno de digitación del agua sobre el polímero, garantizándose un barrido uniforme debido a la corrección del movimiento del agua en el frente de desplazamiento.

Se desarrolló una herramienta computacional denominada SLUPOL, mediante la cual se puede hacer un pre-diseño de las condiciones operacionales asociadas al bache para un proceso de inyección de polímeros.

La implementación de la metodología propuesta en la presente investigación permite determinar las condiciones operacionales para el diseño del bache en un proceso de inyección de polímeros, donde se requiere el uso de los métodos analíticos incorporados en la herramienta computacional desarrollada y la simulación numérica de yacimientos.

BIBLIOGRAFIA

1. BAOJUNBAI, PhD Introduction to EOR processes. Training Course, Work Shop heavy Oil 2012.
2. CARCOANA, A. "Applied Enhanced Oil Recovery". Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 1992
3. CHEN FuMing, KIT-tai, NIUJIN Gang. Polymer flooding in Daqing oil field the depth profile technology overview [J]. J Daqing petroleum geology and development, 2004,(5) : 97-99.

4. COMPUTER MODELING GROUP LTD. User's Guide. Builder. Version 2012
5. DYKSTRA, H. and PARSONS, R. L.: "The Prediction of Oil Recovery by Water Flood" Secondary Recovery of Oil in the United States, API, 2nd ed., New York, NY (1950).
6. EL – KHATIB, Noaman. Effect of adsorption, dispersion and slug size on chemical EOR. Geoscience and Petroleum Engineering Department. University Teknologi PETRONAS.
7. GREEN, D. W. y Willhite, G. P. ENHANCED OIL RECOVERY. SPE textbook serie, Vol 6. Richardson, Texas, 1998. Pag. 100-120.
8. J. Mejía, J. Palma. "Metodología para la evaluación económica y el análisis de riesgo e incertidumbre de un proyecto de inyección de agua" Universidad Industrial de Santander, UIS. Bucaramanga 2008.
9. KLEIN, J. y HEITZMANN, R. "Preparation and characterization of carboxyl groups in hydrolyzed polyacrylamide". Macromolecules.
10. MARTIN, F.D.; SHERWOOD, D. "The effect of Hydrolysis of Polyacrilamide on solution Viscosity, Polymer Retention and Flow Resistance Properties-Part I". SPE 53339
11. MARTIN, F.D.; SHERWOOD, D. "The effect of Hydrolysis of Polyacrilamide on solution Viscosity, Polymer Retention and Flow Resistance Properties-Part II". SPE 53340
12. PARIS DE FERRER, Magdalena. Inyección de agua y gas en yacimientos petrolíferos. 2 edición. Maracaibo.: Ediciones Astro, 2001. 316 p. ISBN 980-296-885-4
13. PEREZ, Francisco. "Recuperación Mejorada de Petróleo". Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas. 1996. Pag 78-79.
14. PERKINS, T.K., et al. A Review of Diffusion and Dispersion in Porous Media. SPE 480.
15. PYE, David J. "Improved Secondary Recovery by Control of Water Mobility". JPT. 2004
16. SORBIE, K.; and PHIL, D. "Polymer-Improved Oil Recovery". Published in the USA and Canada by CRC Press, Florida. 1991
17. STRIGHT, J. "The use of polymers for enhanced oil recovery a Review". Petroleum Recovery Institute. 1976
18. STRIGHT, J. "The use of polymers for enhanced oil recovery a Review". Petroleum Recovery Institute. 2008.
19. SZABO, M. T. "Laboratory Investigation of Factors Influencing Polymer Flood Performance". SPE. Agosto, 1975
20. TAHERI, S, & Et. Al. "Mass Diffusion Into Bitumen: A Sub- Pore Scale Modelling Approach" SPE 138129, 2010. Pag, 7
21. THOMAS, S. Enhanced Oil Recovery –An Overview. En: Oil & Gas Science and Technology. Francia. Vol 63, No.1 (2008); p.16
22. WANG Demin, SPE, Li Qun, SPE, Gong Xiaohong, Wang Yan / Daqing Oil Company. "The Engineering and Technical Aspects of Polymer Flooding in Daqing Oil Field" SPE 64722. P. 5
23. WANG DONGMEI, and ET. Al. " Key Aspect of project Design for polymer flooding" SPE 109682. P 7
24. WARREN, Joseph E. Francis F. Skiba. Members AIME. Gulf Research & Development Co. Pittsburgh, PA, USA. 1964
25. WEISS W.W. "Performance Review of a large Scale polymer flood". SPE/DOE 24145. 1992. P
26. WILLHITE, Paul & GREEN Don W. Enhanced Oil Recovery. USA: SPE Textbook Series, 2003, capítulo 7
27. YINYANLING, Zhangguicai. Chemical water shutoff profile control agent review [J]. Oil and gas geology and recovery 2003 10(6) 64-66.
28. ZHENG, C. G. "Effects of Polymer Adsorption and Flow Behavior on Two-Phase Flowing Porous media". SPE. Junio, 2000.

Recepción: 1 de septiembre de 2014

Aceptación: 4 de noviembre de 2014