

## EVALUACIÓN DE ADITIVOS POLIMÉRICOS EN FORMA DE HOJUELAS PARA FLUIDOS DE PERFORACIÓN EN BASE AGUA MEDIANTE MODELOS MATEMÁTICOS PARA EL EMPAQUETAMIENTO DE PARTÍCULAS

Genaro Bolívar<sup>1\*</sup>, Maria Tortolero<sup>1</sup>, Manuel Mas<sup>1</sup>, Katuska Aguilar<sup>1</sup>, Abel Ojeda<sup>1</sup> y Marinela Colina<sup>2</sup>

1: PDVSA - Intevep. Los Teques - República Bolivariana de Venezuela

2: Universidad del Zulia, Facultad Experimental de Ciencias, Departamento de Química, Maracaíbo- República Bolivariana de Venezuela

e-mail: [\\*bolivargj@pdvsa.com](mailto:*bolivargj@pdvsa.com)

## RESUMEN

En PDVSA – INTEVEP se ha hecho un gran esfuerzo para desarrollar tecnologías en fluidos de perforación de forma sustentable. En tal sentido, el asumir nuevos retos de mayor complejidad durante la perforación constituye un desafío en el desarrollo y evaluación de aditivos diseñados para mitigar problemas de pérdida parcial de circulación; es así como, fue construido en la sede PDVSA – INTEVEP tía Juana un Sistema Simulador de Fracturas (SSF), donde se evaluó a escala banco la tecnología BIOINT SEAL™. Esta tecnología fue diseñada en base de un biopolímero en forma de hojuelas que, posee la capacidad de obturar fracturas hasta de 4000 µm de abertura, soportar diferenciales de presión hasta 1000 psi y producir un “sport loss” de apenas 0,1 bbl. Además, los modelos matemáticos “The plugged zone theory” por su nombre en inglés, han demostrado el mecanismo de acción de dicha tecnología y la importancia en la flexibilidad de la hojuela para generar un valor óptimo de presión de sello o *pressure bearing* ( $P_b$ ).

*Palabras Claves:* BIOINT SEAL™, Pérdida de Circulación y Teoría de sello

## EVALUATION OF THE NEW POLYMERIC ADDITIVE IN THE WATER BASED DRILLING FLUIDS FORMULATION USING MATHEMATICAL MODELS

## ABSTRACT

PDVSA - Intevep has made efforts in the development of technologies and techniques in well drilling. However, as new sources hydrocarbons are founds in reservoirs, increasingly remote and geologically complex, the industry continues to handle new challenges. In this regard, was builded the first System Simulator of Fractures (SSF) and the goal with this new infrastructure is evaluate new technologies a big scale. The BIOINT SEAL™ shown the capacity to seal fractures until 4000 µm in short time and only produce 0,1 bbl of the spurt loss. The BIOINT SEAL™ technology was much better than some conventional Loss Circulation Materials (LCM) up to 80% and the mechanism was explain by plugged zone theory. Furthermore, was shown the efficiency of the new eco friendly seal breakers design by PDVSA Intevep with the capacity is around 80% to remove the seal generate by BIOINT SEAL™.

*Keyword:* BIOINT SEAL™, Loss Circulation and The plugged zone theory

## 1. INTRODUCCIÓN

La pérdida de circulación es la pérdida del fluido de perforación desde la cara expuesta del pozo hacia el interior de la formación. Es el flujo del fluido de perforación hacia la formación que implica que hay menos fluido de perforación volviendo a la línea de descarga, en comparación al que se bombeó o en su defecto se puede generar la falta de retorno del fluido de perforación a superficie. Esto tiene como consecuencia desde problemas de torque y arrastre hasta la pérdida del hoyo, debido al flujo total del fluido a la fractura o derrumbe de las paredes del pozo.

Las pérdidas pueden ser clasificadas de la siguiente manera, esta son:

- Filtrado: Entre 1 hasta 10 barriles por hora (bbl/hrs.)
- Pérdida parcial: Entre 10 hasta 100 barriles por hora (bbl/hrs.)
- Pérdida severa: mayor a 100 barriles por hora (bbl/hrs.)

Este tipo de problema operacional se puede presentar en formaciones de grano grueso no consolidadas donde puede existir una permeabilidad suficientemente alta para que el fluido de perforación invada la matriz de la formación, resultando en la pérdida de circulación. Las formaciones agotadas (generalmente arenas) constituyen otra zona de pérdida potencial. La producción de formaciones que están ubicadas en el mismo campo, o que están muy próximas las unas de las otras, puede causar una presión de la formación por debajo de lo normal (agotada), debido a la extracción de los fluidos de la formación. En tal caso, los pesos del fluido de perforación requeridos para controlar las presiones de las otras formaciones expuestas pueden ser demasiado altos para la formación agotada, forzando el lodo a invadir la formación agotada de baja presión (en este caso es más un proceso de control de filtrado). La pérdida de lodo también puede ocurrir hacia las fisuras o fracturas de los pozos donde no hay ninguna formación de grano grueso permeable o cavernosa. Estas fisuras o fracturas pueden ocurrir naturalmente o ser generadas o ampliadas por presiones hidráulicas y son las que se les suele denominar como fracturas inducidas. Estas son generadas principalmente por una presión de fondo excesiva (caudales y velocidades de bombeo excesivo, causando altas presiones de Densidad Equivalente de Circulación (ECD) o por colocación incorrecta de la tubería (surgencia o suabeo).

En este trabajo, se evalúan las teorías propuestas [1] para describir el mecanismo de empaquetamiento de aditivos diseñados para mitigar el control de pérdida de circulación; tales como, “*Stress Cage Theory*”, “*Plugged Zone Theory*” y “*Strength Ring Theory*”. Además, se realizan estudios comparativos de los resultados obtenidos a escala de laboratorio y banco, con la finalidad de evaluar las potencialidades del producto BIOINT SEAL™, un aditivo biopolimérico en forma de hojuelas utilizado para la formulación de píldoras sellantes en fluidos base agua.

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

### 2.1 Características fisicoquímicas del producto BIOINT SEAL™

El producto BIOINT SEAL™ es un material flexible, en forma de hojuelas que permite un efecto coadyuvante en conjunto con partículas sólidas de  $\text{CaCO}_3$  para generar el sello de fracturas. El aditivo obturante en forma de hojuelas, está destinado para la formulación de píldoras sellante y se usa para controlar la pérdida de circulación en zonas fracturadas. La morfología del BIOINT SEAL™ fue estudiada por MEB y la caracterización final del material se realizó por Análisis Termogravimétrico Diferencial (DTG).

### 2.2 Uso de modelos propuestos para describir el mecanismo de obturación del producto BIOINT SEAL™

Los modelos propuestos [1] acerca de las teorías “*Stress Cage Theory*”, “*Plugged Zone Theory*” y “*Strength Ring Theory*”, son motivo de estudio en este trabajo. Además, se establece un posible mecanismo para el funcionamiento de la tecnología BIOINT SEAL™ en base a criterios técnicos desarrollados para materiales reforzadores de la estabilidad del hoyo o “*Wellbore Strengthening Materials*” por su nombre en inglés.

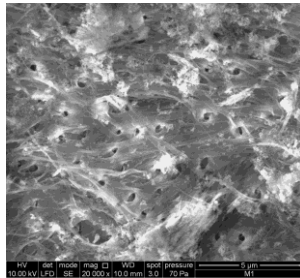
### 2.3 Formulación de un agente rompedor del sello generado por el producto BIOINT SEAL™ para minimizar el daño a la formación

Con la finalidad de minimizar el impacto al medio ambiente, se formuló un agente rompedor a base de ácido orgánico. La relación exacta de este ácido orgánico en la mezcla, permitió acelerar el mecanismo de remoción del sello (una vez cumplida su función) y garantizar un mínimo del 10% en el residuo remanente luego del tratamiento ácido.

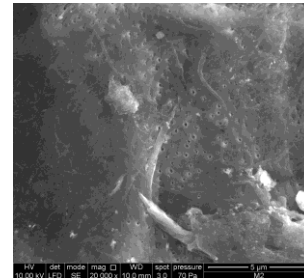
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Características Fisicoquímicas del producto BIOINT SEAL™

La obtención del producto BIOINT SEAL™ a partir de diferentes fuentes, generó el estudio morfológico del material (Figura 1) que permitió identificar las características del biopolímero necesarias para garantizar la flexibilidad de las hojuelas; así como, una óptima calidad del producto final para generar en conjunto con partículas de CaCO<sub>3</sub> la obturación de aberturas de hasta 4000 μm.



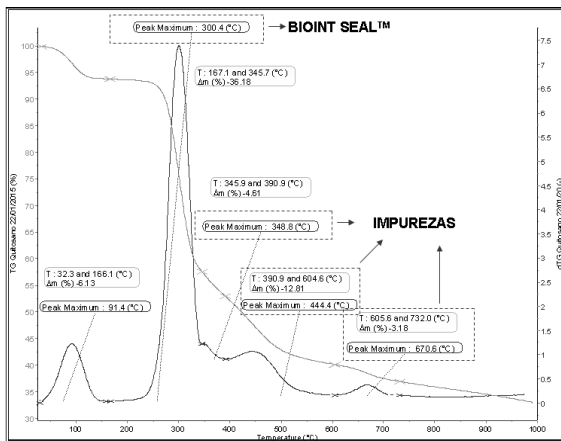
(Fuera de especificaciones)



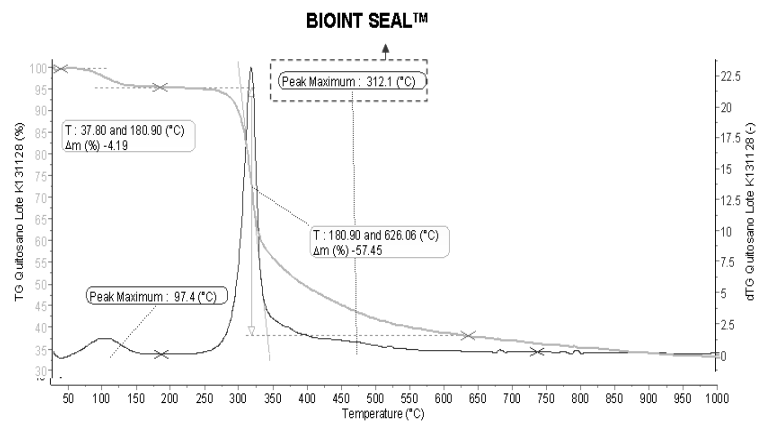
(Dentro de las especificaciones)

Figura 1. Estudio por Microscopia Electrónica de Barrido de la morfología del producto BIOINT SEAL™

Los estudios realizados por Análisis Termogravimétrico Diferencial (DTG) (Figura 2), contribuyeron a identificar impurezas en el producto de partida que contrarrestan la eficiencia del biopolímero, generando una mayor cantidad de residuos una vez removido el sello. Este tipo de impurezas fueron removidas, optimizando la calidad del producto final y prolongando los periodos de exposición del material al medio alcalino. Esto contribuyó significativamente para seleccionar el ácido empleado para la purificación del producto y el más efectivo entre el ácido clorhídrico (HCl) y el ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>).



(Fuera de especificaciones)



(Dentro de las especificaciones)

Figura 2. Análisis termogravimétrico del producto BIOINT SEAL™

Finalmente, las características fisicoquímicas del biopolímero y la flexibilidad del material en forma de hojuelas permitieron optimizar hasta en un 80% el sello generado por el producto BIOINT SEAL™, en comparación al uso de productos convencionales. Además, se verificó la reproducibilidad de estos resultados obtenidos a escala laboratorio y los obtenidos a escala banco, en el Sistema Simulador de Fracturas (SSF) diseñado por PDVSA – Intevep en la sede de Tía Juana.

3.2 Uso de modelos propuestos para describir el mecanismo de obturación del producto BIOINT SEAL™

De acuerdo a los modelos geomecánicos propuestos [1] y desarrollados en extenso en dicho trabajo, se consideró “The Plugged Zone Theory” para describir el mecanismo de funcionamiento de la tecnología BIOINT SEAL™. Además, el uso de este modelo permitió describir los beneficios obtenidos en los cambios de la distribución de los esfuerzos atribuibles al uso del producto BIOINT SEAL™. Debido a una reducción en las dimensiones de la fractura por el empaquetamiento del material que produce una caída en los esfuerzos horizontales que disminuye las posibilidades de propagación de la fractura (Figura 3).

El taponamiento o “plugging” generado por el sistema BIOINT SEAL™, se produce cuando el máximo empaquetamiento en múltiples escalas se genera y contribuye a la formación de un sello óptimo (macroescala), Figura 3, y ha sido la clave para describir el mecanismo de obturación por parte de este nuevo biopolímero.

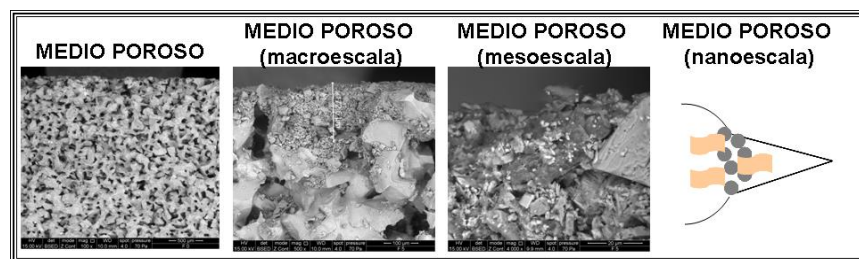


Figura 3. Estructura en multiescala de la formación del sello generado por el producto BIOINT SEAL™

La máxima presión soportada por el sello o “plugging” generado por el material en las cavidades de la fractura, viene determinada por las siguientes ecuaciones:

$$P_b = \max(\sigma_m, f) \tag{1}$$

Donde;

P<sub>b</sub>= Presión máxima de conexión o empaquetamiento

σ<sub>m</sub>= Esfuerzo máximo del material

Mientras que “f” es un parámetro de fricción entre el material y superficie de la fractura y viene dado por:

$$f = 2\mu_f E_m \left( \frac{d}{W_f} - 1 \right) \tag{2}$$

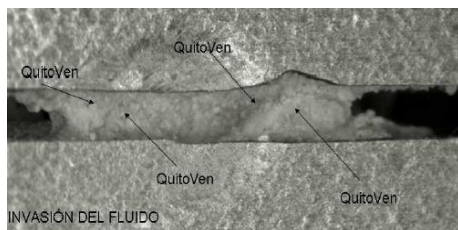
Donde;

μ<sub>f</sub> = Coeficiente de fricción de la formación

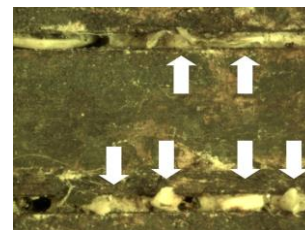
E<sub>m</sub> = Modulo elástico del material

W<sub>f</sub> = amplitud de la fractura

Este modelo describe satisfactoriamente el requerimiento de flexibilidad por parte del material para poder adentrarse en la fractura y alivianar los esfuerzos generados por la formación fracturada o el desbalance generado por las presiones de los fluidos presentes en el hoyo. Contribuyendo de esta manera a mitigar un problema operacional recurrente durante las operaciones de perforación. El modelo descrito permitió explicar los resultados obtenidos a escala de laboratorio y banco para la obturación de sistemas ranurados, donde el sello formado fue capaz de soportar diferenciales de presión de hasta 1000 psi sin ceder y la obturación del sello en el interior de la ranura demuestra la importancia de la flexibilidad de la hojuela en el biopolímero (Figura 4).



(Resultados obtenidos a escala de laboratorio)



(Resultados obtenidos a escala banco)

**Figura 4.** Ensayos realizados al producto BIOINT SEAL para obturar ranuras de diferente abertura.

#### 4. CONCLUSIONES

El producto BIOINT SEAL™ diseñado a partir de un biopolímero de origen nacional, bajo la presentación comercial en forma de hojuelas demostró a escala de laboratorio y banco la capacidad de generar un sello reversible capaz de soportar, sin ceder, un diferencial de presión de hasta 1000 psi. El modelo empleado para describir el mecanismo de acción de la tecnología BIOINT SEAL™, fue “*The plugged zone theory*” demostrándose la importancia de la flexibilidad de la hojuela al momento de alcanzar la presión de sello o *pressure bearing* ( $P_b$ ) por sus siglas en ingles.

#### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Kang Y, Xu Ch, Tang L, Li S, Li D. Petrol. Explor. Develop. 2014, (41), 520 – 527.
- [2]. Pillai C, Paul W, Sharma Ch. Progress in Polymer Science (2009), (34), 641–678
- [3]. Arshad U, Jain B, Pardawalla H, Gupta N, Meyer A. Schlumbeger SPE 169343-MS.