

DESARROLLO Y FABRICACIÓN DE UN AGENTE DE SOSTÉN TRAZABLE EN ARGENTINA Y SU APLICACIÓN EN UN POZO DE TIGHT GAS DEL YACIMIENTO RÍO NEUQUÉN

María S. Herrera¹, Sofia Rivelli Lavallen², Ricardo Anaya², Eduardo Gilabert³, Roberto Bach³, Valeria Favre²,
Esteban Bernal², María Alejandra Floridia², Rubén N. Santillán², Alberto Caneiro², María Lila Arias²,
Alberto Aguirre², Darío Boschetti³, Emilio Orte³, María Soledad Cantón³

1: YPF Tecnología S.A y CONICET. m.silvia.herrera@ypftecnologia.com

2: YPF Tecnología S.A. sofia.rivelli.l@ypftecnologia.com, ricardo.anaya@ypftecnologia.com,
valeria.s.favre@ypftecnologia.com, esteban.bernal@ypftecnologia.com, maria.a.floridia@ypftecnologia.com,
ruben.n.santillan@ypftecnologia.com, alberto.caneiro@ypftecnologia.com, maria.arias@ypftecnologia.com,
luis.a.aguirre@ypftecnologia.com

3: YPF S.A. eduardo.s.gilabert@ypf.com, roberto.bach@ypf.com, dario.boschetti@ypf.com,
emilio.m.orte@ypftecnologia.com, maria.s.canton@ypf.com

Palabras clave: agente de sostén resinado, agente de sostén trazable, gadolinio, logging de neutrones, piloto de campo, tight gas

ABSTRACT

In the hydraulic stimulation process, the geometry generated after fracture is unknown. Commonly, the available information is the result of fracture simulations that contemplate the mechanical properties and characteristics of the reservoir, obtained from the interpretation of open hole. When in doubt, certain zones of interest may not be stimulated due to unknown stress regimes, formation anomalies, and/or perforation performance related problems, the use of a detectable proppant by conventional neutron logging tools, allows to estimate the minimum effective vertical extension of the stimulated zone.

Y-TEC has developed a resin-coated proppant with addition of gadolinium oxide, which is a material that can be detected in the near wellbore using neutron logging tools. This product is the first resin-coated proppant developed and produced on a large scale in Argentina, and it has the possibility of using different meshes and substrates (natural sands and ceramic proppants).

The product has been thoroughly evaluated in accordance with API/ISO international standards for proppants. Furthermore, the concentration and distribution of gadolinium in the resin layer were determined by ICP-OES spectroscopy and scanning electron microscopy, respectively.

The proppant was field tested in a tight gas well located at the Neuquén Basin, where 60 tons of product were pumped in two stages. Proppant placement was determined comparing pre- and post-stimulation profiles of the Dry Weight gadolinium log. The test result shows that resin-coated proppant added with gadolinium can be used to evaluate propped fractures height using a pulsed neutron tool. Additionally, these data allowed the evaluation of the perforation strategy currently used in the reservoir.

INTRODUCCIÓN

En el proceso de estimulación hidráulica se desconoce con exactitud la ubicación y la geometría de las fracturas producidas luego de la operación. Habitualmente, sólo se cuenta con una simulación que contempla las propiedades mecánicas y las características del reservorio, obtenidas de la interpretación de los perfiles a pozo abierto. Por lo tanto, es posible que ciertas zonas de interés no se logren estimular debido a regímenes de esfuerzos desconocidos, anomalías en la formación y/o problemas en los punzados. La utilización de un agente de sostén trazable permite estimar la extensión vertical efectiva mínima de la zona estimulada en un pozo vertical y aporta nuevos datos para evaluar el comportamiento y la eficiencia de tratamientos, calibrar modelos geomecánicos y optimizar las estrategias de completación del pozo. El conocimiento adquirido a partir del entendimiento de los perfiles medidos permite planificar operaciones de remediación o utilizar estos resultados para los diseños de tratamiento más efectivos a ejecutarse en el desarrollo del yacimiento.

En las patentes US8234072 y US8648309 (Smith *et al.*, 2012; Smith y Duenckel, 2014) se han propuesto métodos para identificar agentes de sostén trazables a partir de la incorporación de un elemento con elevada sección eficaz de captura de neutrones térmicos, como el gadolinio, en los granos del agente de sostén. La detección del agente de sostén trazable puede realizarse a partir de la determinación de la tasa de neutrones térmicos, la sección eficaz de captura macroscópica de la formación o a través de espectroscopia gama mediante logging de neutrones. En general, los perfiles post estimulación se comparan con los registros pre estimulación (*baseline*), mostrando así la presencia (o ausencia) del agente de sostén trazable.

En Y-TEC se llevó a cabo un proyecto de investigación y desarrollo (I+D) que permitió el desarrollo nacional de un agente de sostén resinado con adición de óxido de gadolinio. Este trabajo comenzó en 2019 con un estudio de factibilidad numérico del proceso de detección de agentes de sostén trazables con óxido de gadolinio (Gd_2O_3) y óxido de samario (Sm_2O_3), en condiciones realistas de pozos (Herrera *et al.*, 2019). En este estudio se estableció un rango de concentraciones de adición de Gd_2O_3 y Sm_2O_3 en los agentes de sostén, para ser detectados en la formación con herramientas de logging de neutrones pulsados. Dichas ideas continuaron con el desarrollo en escala laboratorio y Planta Piloto, basado en un proceso de resinado previamente desarrollado por Y-TEC (Arias *et al.*, 2017). Cuando el proyecto alcanzó su madurez, Y-TEC llevó a cabo el escalado industrial del agente de sostén trazable junto a un socio tecnológico con capacidad instalada para producir arena resinada para la industria metalúrgica, en Argentina (Rivelli *et al.*, 2020). Finalmente, el producto desarrollado fue validado técnicamente en un piloto de campo en un pozo tight gas del yacimiento Río Neuquén.

MATERIALES Y MÉTODOS

Fabricación de agente de sostén resinado trazable

A lo largo del trabajo se emplearon diferentes tipos de sustratos (Fig. 1) y mallas (20/40, 30/50 y 30/70) para la fabricación de agentes de sostén resinados trazables. El recubrimiento del agente de sostén se realizó utilizando una resina fenólica novolaca comercial. La adición de óxido de gadolinio en polvo se realizó durante el proceso de resinado de acuerdo con el procedimiento establecido a lo largo del proyecto.

Para el piloto se fabricaron 60 toneladas del producto bajo estrictos controles de calidad y caracterizaciones. En particular, la concentración mínima de gadolinio necesaria fue determinada en Herrera *et al.*, 2019.

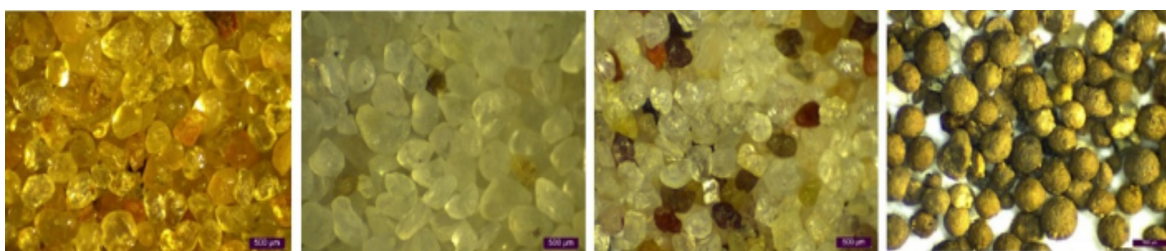


Figura 1. Fotografías en lupa de algunas de las arenas naturales nacionales #30/50 y agente de sostén cerámico importado #30/50 utilizados como sustrato para el desarrollo de agentes de sostén resinados trazables.

Caracterización del agente de sostén resinado trazable

Las propiedades de los agentes de sostén resinados trazables, producidos a lo largo del proyecto, fueron caracterizadas detalladamente en los laboratorios de Y-TEC, de acuerdo con las normas internacionales API STD 19C 2018 e ISO 13.503:05-2006 para agentes de sostén. Estos ensayos incluyeron las determinaciones de densidad *bulk*, densidad aparente, pérdida por calcinación (o Loss On Ignition, LOI) de la capa de resina, generación de finos a diferentes presiones (*crush resistance test*), distribución de tamaño de partícula, parámetros de forma (esfericidad y redondez), turbidez, solubilidad al ácido y conductividad. Además, la concentración y la distribución del óxido de gadolinio en la capa de resina se determinaron mediante espectrometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) y microscopía electrónica de barrido (SEM), respectivamente.

Adicionalmente, se realizaron ensayos de conductividad sobre los agentes de sostén resinados trazables y sus correspondientes sustratos, siguiendo las recomendaciones establecidas en la norma ISO 13.503:05-2006 (2% KCl a 150°F o 250°F para agente de sostén sustrato o resinado,

respectivamente; concentración de agente de sostén 2 lb/ft² en arenisca de Ohio y presión poral 400 psi).

Diseño y ejecución del piloto

El piloto de campo se llevó a cabo en un pozo vertical de tight gas en el Yacimiento Río Neuquén. Para la selección del pozo y las etapas del piloto se tuvieron en cuenta diferentes factores tales como el buen estado del cemento, inclinación del pozo menor a 5° en las zonas de interés, características geológicas y diseño de estimulación adecuadas, etapas con menor riesgo de screen out y 20 % de agente de sostén trazable sobre el total de agente de sostén utilizado en la etapa de interés. Dadas las condiciones de presiones de cierre del yacimiento Río Neuquén se decidió realizar el piloto de campo con el agente de sostén cerámico trazable. Para ello se empleó el agente de sostén cerámico comercial previamente adquirido para el proceso de estimulación del pozo.

El diseño del piloto consistió en la ejecución de un total de 17 etapas, en dos de las cuales se empleó el agente de sostén cerámico resinado trazable desarrollado por Y-TEC, en el tail-in o cierre de la fractura. Las etapas de interés serán denominadas A y B. La etapa A se encuentra en la parte media de la formación Punta Rosada y consta de un espesor útil de 20 m. En esta etapa se realizó una entrada limitada con doble punzado, separados por un paquete o cuello pelítico. La selección de esta etapa se realizó con el objetivo de evaluar la eficiencia de la entrada limitada y determinar si el cuello pelítico genera una barrera significativa para el crecimiento de la fractura. La etapa B se encuentra en la parte superior de la formación Punta Rosada y consta de un espesor útil de 42 m. En esta etapa se realizó un único punzado centralizado en una zona de arena limpia. Esta etapa se seleccionó para evaluar el crecimiento de la fractura en altura.

En ambas etapas se emplearon 3 tipos de agentes de sostén importados y un diseño de fractura híbrido en el cual se emplearon como fluidos de fractura *slickwater*, gel lineal y gel activado. Con el fin de evaluar la estabilidad del agente de sostén y del fluido de fractura, se realizaron ensayos de compatibilidad del agente de sostén producido por Y-TEC con el fluido de fractura en una compañía de servicios.

Previo a las operaciones de estimulación se realizó un registro CBL/VDL y el primer perfil de neutrones. Luego del proceso de completación y previo al registro post estimulación, se realizó una limpieza del pozo mediante un *coil tubing*. Una vez que el pozo entró en la etapa de producción, se realizó el registro de producción PLT y se bajó la herramienta de neutrones para determinar el perfil post estimulación.

Para la detección del agente de sostén resinado trazable, se empleó una herramienta de neutrones pulsados de 14 MeV. Esta herramienta fue elegida por sobre otras debido a que puede medir el espectro de captura del gadolinio y posee el diámetro adecuado para la geometría del pozo. Los registros se realizaron a una velocidad de pasada de 200 ft/h. Esta estrategia de adquisición se

utilizó en las 2 intervenciones (pre y post estimulación) con dos pasadas en cada intervención. Los perfiles pre y post estimulación se iniciaron 200 metros por debajo del límite inferior de la etapa A, abarcaron las zonas de interés y finalizaron 100 metros por encima de etapa B.

Evaluación de la integridad del coating

Con el objetivo de estudiar la integridad de la capa de resina y el gadolinio, se tomaron 2 muestras de agentes de sostén durante la limpieza de *coil tubing* y 2 muestras de devolución de agente de sostén durante la producción del pozo (con 2 y 3 semanas luego del enganche a línea). En el primer caso, se obtienen agentes de sostén que no ingresaron a la formación pero que pudieron sufrir desgastes durante la operación de bombeo y de limpieza. En el segundo, se trata de agentes de sostén que, además del posible desgaste durante la operación, ingresaron en la formación y fueron devueltos durante la producción del pozo. Los agentes de sostén muestreados fueron limpiados y analizados en SEM para establecer la preservación y/o daño de la capa de resina.

RESULTADOS

Caracterización del agente de sostén resinado trazable

Como se describió anteriormente, todas las muestras producidas a lo largo del proyecto fueron caracterizadas siguiendo la norma ISO 13.503:02 para agentes de sostén. A partir del análisis de los resultados de los ensayos se creó una metodología de estudio que permitió seleccionar el agente de sostén sustrato y optimizar parámetros de procesamiento del resinado, establecer la cantidad de resina necesaria y el óxido de gadolinio a incorporar, de acuerdo con los requerimientos de la aplicación.

En la Fig. 2 se detallan los resultados promediados de los ensayos de caracterización realizados sobre el agente de sostén cerámico resinado trazable malla 20/40 bombeado en el piloto de campo y sobre el cerámico sustrato empleado para su fabricación. Como se observa, el agente de sostén trazable desarrollado y fabricado por Y-TEC cumple con todas las recomendaciones indicadas en la norma ISO/API (Fig. 2). Además, la adición del coating de resina con Gd_2O_3 no altera las propiedades del agente de sostén sustrato y en particular la resistencia a la rotura se ve significativamente mejorada. En cuanto a las propiedades de forma se puede observar en las tablas y gráficos (Figs. 2 y 3) que dichas propiedades y la distribución de tamaño de partícula no se ven afectadas por el coating de resina y la incorporación del óxido de gadolinio.

PROPIEDADES	CERÁMICO SIN RESINAR	CERÁMICO RESINADO TRAZABLE	RECOMENDACIONES Norma API STD 19C 2018
Densidad bulk (g/cm ³)	1,80	1,79	-
Densidad aparente (g/cm ³)	3,2	3,1	-
LOI (%p/p)	0	2,2	-
Crush a 12kpsi (% finos)	3,3	0,8	< 10
Solubilidad al ácido (%)	< 7	< 5	< 7
Turbidez (NTU)	< 250	< 100	< 250
D50 (μm)	714	718	-
Esfericidad	0,96	0,96	≥ 0,7
Redondez	0,97	0,96	≥ 0,7

PROPIEDADES	CERÁMICO SIN RESINAR		CERÁMICO RESINADO TRAZABLE		RECOMENDACIONES Norma API STD 19C 2018
	N° tamiz	Retenida (%p/p)	N° tamiz	Retenida (%p/p)	
Distribución granulométrica	20	0	20	0,7	Tamices superiores ≤ 0,1% En especificación ≥ 90% Tamices inferiores ≤ 1%
	25	35,5	25	35,5	
	30	58,6	30	49,9	
	35	5,6	35	12,7	
	40	0,3	40	1,1	
	50	0	50	0,1	
	>50	0	>50	0	

Figura 2. Propiedades físicas, parámetros de forma y distribución granulométrica del agente de sostén cerámico resinado trazable #20/40 y las del sustrato cerámico #20/40 utilizado para su fabricación.

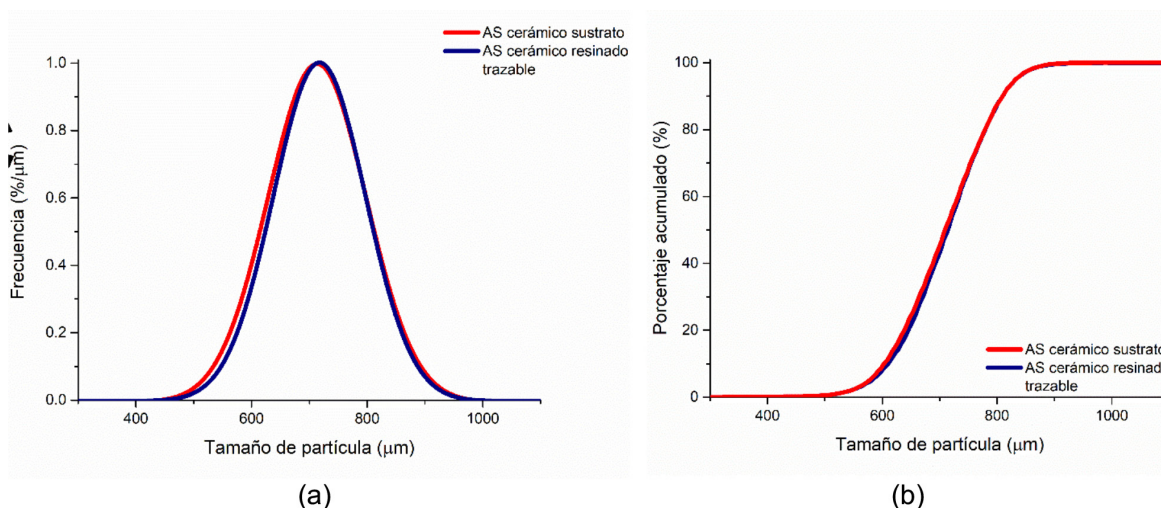


Figura 3. Curvas de (a) distribución de tamaño de partícula normalizada y (b) porcentaje de volumen acumulado del agente de sostén cerámico malla 20/40 y agente de sostén cerámico resinado trazable malla 20/40 producida en la planta industrial para piloto de campo.

En la Fig. 4 se muestran los resultados obtenidos de conductividad y permeabilidad, respectivamente, donde se compara la performance de agente de sostén cerámico resinado trazable con el agente de sostén cerámico sin resinar. Como puede observarse no se encuentran diferencias significativas entre los valores obtenidos a las diferentes presiones de confinamiento ensayadas.

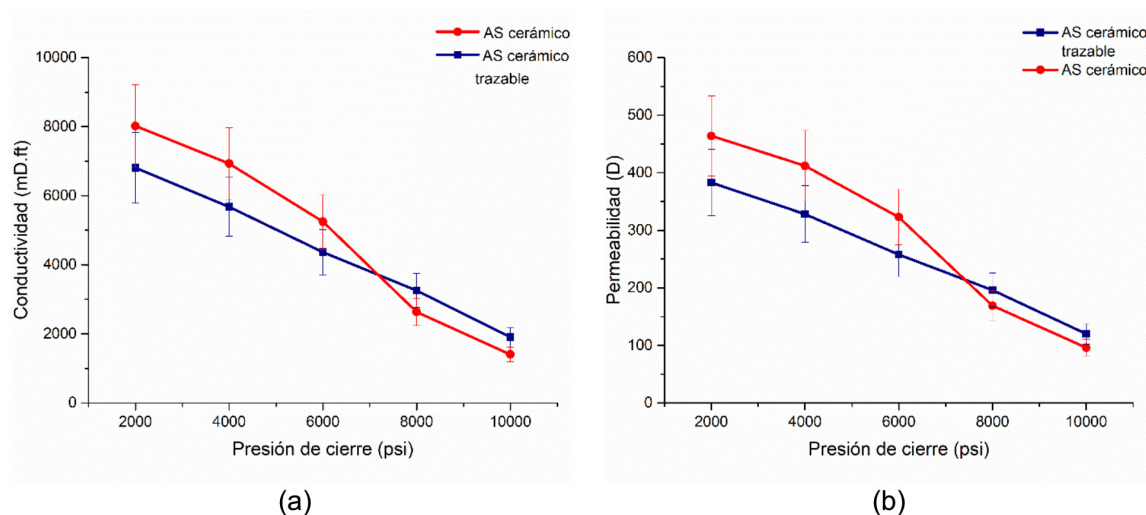


Figura 4. Ensayo de conductividad realizados sobre agente de sostén cerámico resinado trazable #20/40 y el sustrato cerámico #20/40 utilizado para su fabricación. Se muestran los resultados obtenidos de (a) conductividad y (b) permeabilidad siguiendo las recomendaciones de la norma ISO 13.503:05 -2006 (2 % KCl, 250°F-2 lb/ft² arenisca de Ohio, 400 psi).

Piloto de Campo

Como se detalló anteriormente, el piloto consistió en tres instancias: la primera, donde se realizaron los registros CBL/VDL y de neutrones pulsados pre estimulación. La segunda, se inició con un DFIT previo a la ejecución del tratamiento y la estimulación de las etapas de interés. Y la tercera, una vez puesto el pozo en producción, y hacia el final del *flowback*, el registro PLT y el perfil de neutrones post estimulación. El perfil CBL/VDL mostró una buena calidad de cemento en todo el pozo y en particular en las etapas de interés, la cual era una condición necesaria para avanzar con el piloto de campo.

En ambas etapas de interés el bombeo del agente de sostén fue exitoso y sin modificaciones respecto a un tratamiento de estimulación estándar. En particular, en el registro de operación se evidenció un aumento en la presión de superficie luego del ingreso del agente de sostén trazable. Este comportamiento fue observado previamente en otros esquemas de bombeo en los cuales se utilizan agentes de sostén resinados que provocan un aumento de fricción sobre la cañería y, por lo tanto, un incremento en el registro de presión de superficie.

En las siguientes subsecciones se detallan los resultados obtenidos durante la operación de

bombeo, sobre las muestras de agente de sostén obtenidas en las intervenciones y sobre el análisis de los perfiles PLT y de neutrones de cada una de las etapas.

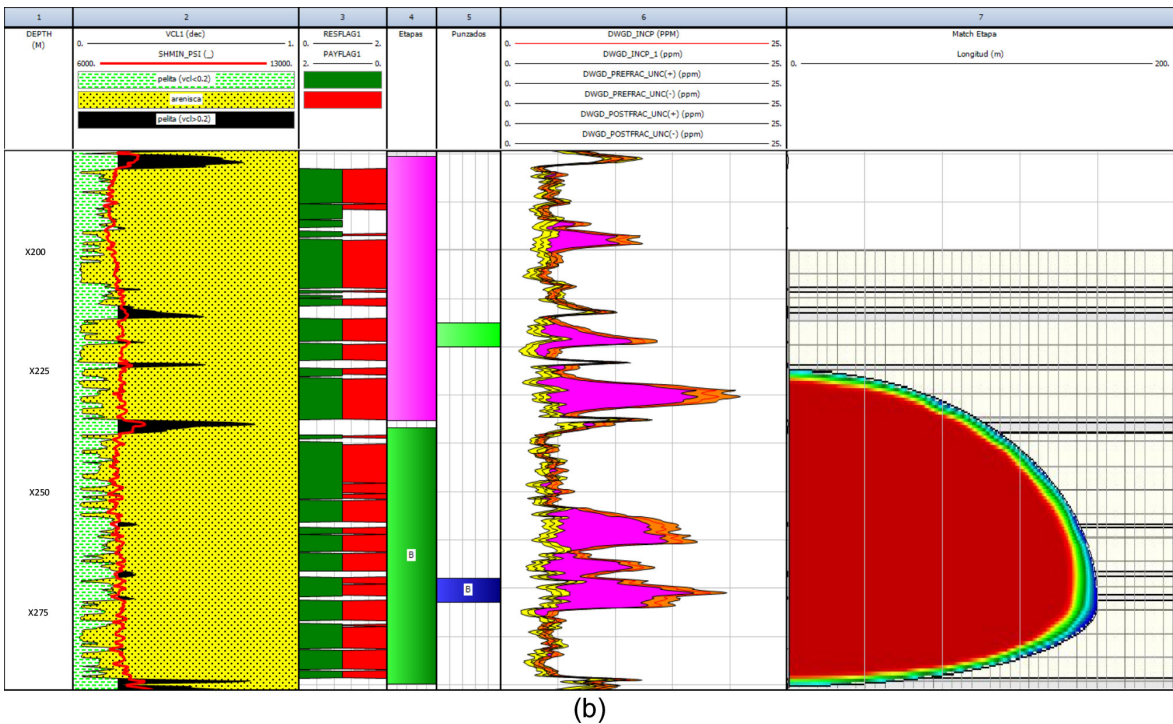
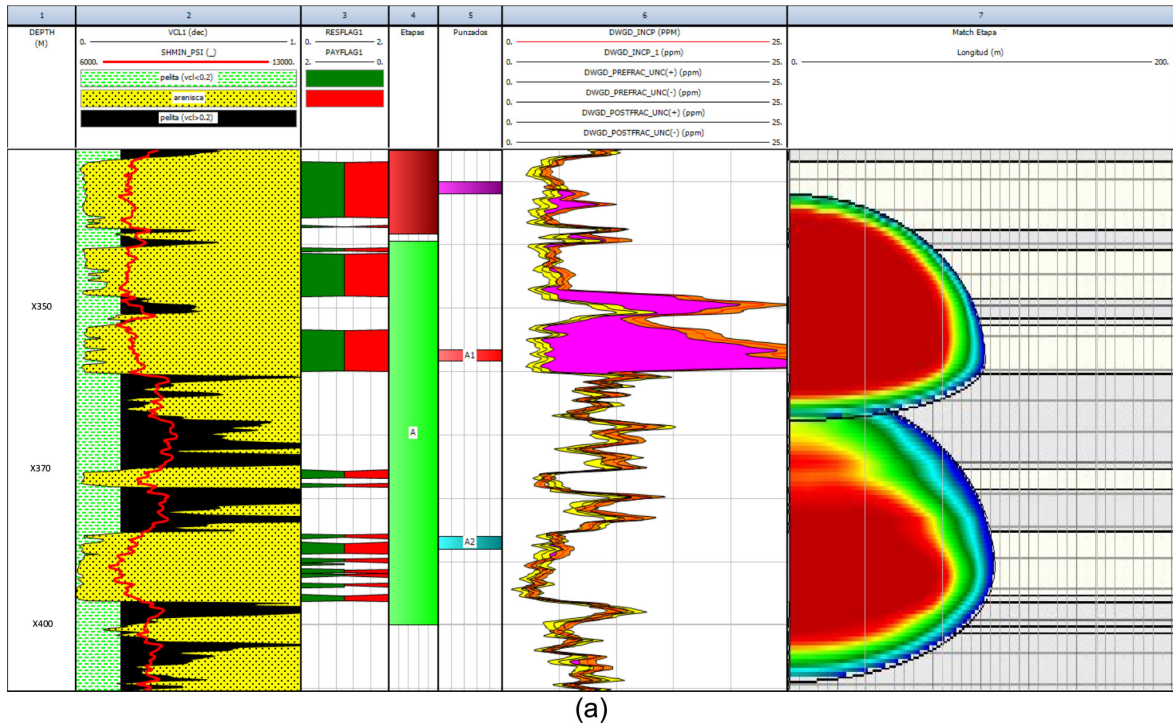


Figura 5. Registros Dry Weight Gadolinium (DWGD) pre y post estimulación. La diferencia entre los perfiles se muestra en color magenta. (a) Etapa A (b) Etapa B.

Detección del agente de sostén trazable

A partir de las curvas *Dry Weight Gadolinium* (DWGD) pre y post estimulación, obtenidas con la herramienta de neutrones pulsados se pudo determinar la presencia del agente de sostén trazable con gadolinio en las dos etapas. Esto se observa en el área de color magenta delimitada entre las curvas pre y post estimulación (Fig. 5).

En la etapa A se observa la presencia de gadolinio únicamente en el punzado superior A1, lo que permite interpretar que el agente de sostén trazable bombeado habría ingresado en su totalidad por el punzado superior A1 y no por el inferior A2. El registro PLT muestra que ambos clusters producen gas, por lo que el tratamiento podría haber comenzado en ambos punzados y a partir de un cierto volumen de agente de sostén no trazable ingresado en el punzado inferior, este dejó de admitir y el resto del tratamiento se desarrolló por el punzado superior. Este efecto pudo deberse a una restricción en el crecimiento de la fractura en el punzado inferior debido a la presencia de un cuello pelítico con mayor esfuerzo mínimo (Sh_{min}), que se encuentra por encima del mismo (curva roja en el Track 2). A partir de este análisis es posible inferir que el tratamiento se vio favorecido a desarrollarse por el punzado superior, y que el paquete pelítico entre ambas arenas de interés podría generar una barrera en el crecimiento de la fractura.

En la etapa B se observan distintas zonas con detección de agente de sostén trazable bien definidas. Si se considera que en toda esta zona se desarrolló la fractura, se determina un crecimiento mínimo de 82 m en altura. Como se puede observar en la Fig. 5.b, el tope de la fractura determinado mediante el agente de sostén trazable se encuentra 32 m por encima del tope estimado en la simulación (*Track* 6 y 7, respectivamente). Esto confirmaría la hipótesis de que los cuellos pelíticos de poco espesor, que se encuentran intercalados en las areniscas, no generan una restricción en el crecimiento en altura de la fractura.

Por último, cabe mencionar que el registro PLT de la etapa B muestra una producción de gas normalizada 70 % mayor a la determinada en la etapa superior a la B, pudiendo existir un drenaje desde la arenisca hacia la fractura de la etapa B.

Análisis de la capa de resina

Las muestras recolectadas en el período de producción del pozo contienen tanto el agente de sostén con óxido de gadolinio como agentes de sostén no trazables bombeados previamente durante el tratamiento (Fig. 6). A partir de las imágenes SEM (Fig. 7) fue posible estimar la proporción de agente de sostén trazable en las muestras analizadas. Se encontraron aproximadamente 2 o 3 granos de agente de sostén trazable por cada 60 agentes de sostén observados en la muestra. Este porcentaje, de aproximadamente 4,6% del volumen total, es esperable para un aporte de dos etapas con agente de sostén trazable sobre un total de 17.



Figura 6. Fotografía de una muestra de agente de sostén (previamente lavada) tomada en el periodo de producción del pozo. Se observan a simple vista los tres tipos de agentes de sostén utilizados en el tratamiento. El agente de sostén oscuro/negro corresponde al cerámico importado #20/40, el claro/beige al cerámico importado #30/50 y el amarillo/ámbar al agente de sostén trazable #20/40.

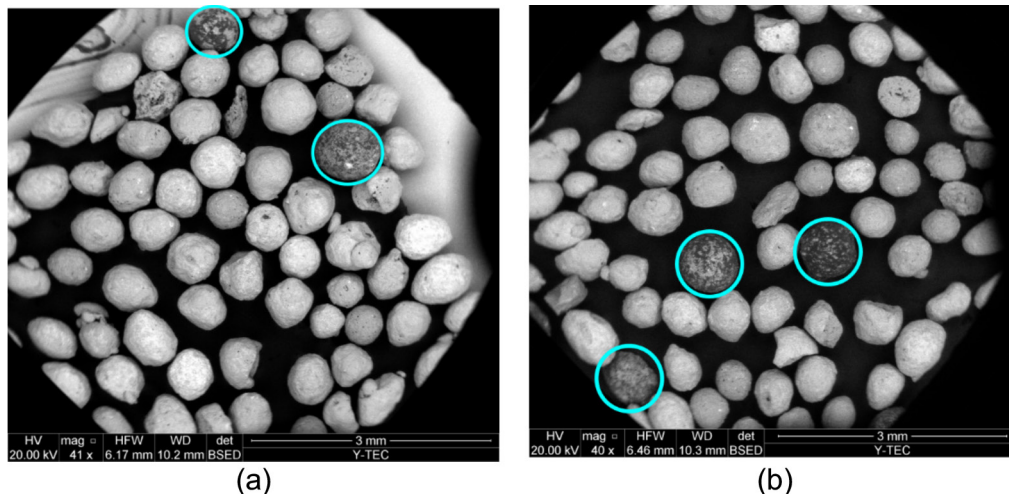


Figura 7. Dos muestras de agentes de sostén tomadas del agua de flowback, observadas en el portamuestras del SEM. (a) 2 agentes de sostén resinados trazables y 63 cerámicos. (b) 3 agentes de sostén resinados trazables y 59 cerámicos.

Los agentes de sostén resinados fueron separados de las muestras de agentes de sostén y analizados en SEM. Se clasificaron según el tipo de erosión sufrida como “sin erosión”, “erosión moderada” y “erosión alta”. En las imágenes adquiridas a partir de SEM, se observan agentes de sostén normales sin erosión (Fig. 8.a), con la capa de resina preservada y las partículas de óxido

de gadolinio (en color brillante) incluidas en la capa de resina (en color oscuro). En todas las muestras analizadas se encontraron aproximadamente más del 80% de los agentes de sostén con el recubrimiento preservado y aproximadamente el 95% sin erosión o levemente erosionados (Fig. 8.b). Una proporción menor al 5% de los agentes de sostén se encontró con una elevada erosión del *coating* y por lo tanto con una pérdida significativa del compuesto trazable (Fig. 8.c).

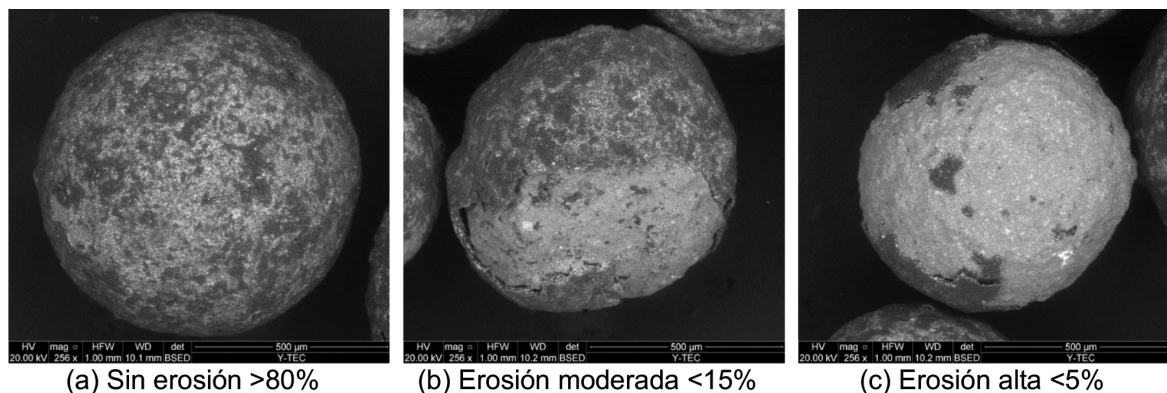


Figura 8. Imágenes SEM de muestras de flowback del agente de sostén trazable. Se clasifican según el tipo de erosión y la frecuencia de ocurrencia en las muestras analizadas. (a) Agente de sostén normal sin erosión, con la capa de resina preservada y las partículas de óxido de gadolinio (en color brillante) incluidas en la capa de resina (en color oscuro). (b) Agente de sostén con erosión moderada donde se observa el desprendimiento parcial de la capa de resina. (c) Agente de sostén erosionado, donde se observa principalmente el sustrato cerámico.

CONCLUSIONES

El producto elaborado para el piloto de campo es el primer agente de sostén resinado desarrollado y producido a gran escala en el país, y cuenta con ventajas competitivas frente a otros productos comerciales importados como, por ejemplo, la posibilidad de utilizar diferentes mallas y sustratos (arenas naturales y cerámicos). El agente de sostén trazable cumple con las normas internacionales para agentes de sostén y sus propiedades no se ven afectadas por la presencia de las partículas de gadolinio en el *coating* de resina.

En el piloto de campo se probó con éxito el bombeo del agente de sostén resinado trazable malla 20/40 durante el proceso de estimulación hidráulica. Esto se verificó con la detección del gadolinio en las dos etapas donde se realizó el piloto, utilizando una herramienta de neutrones pulsados. Adicionalmente, los resultados aportaron nueva información para la evaluación del diseño de estimulación, a partir del análisis de los perfiles de gadolinio pre y post estimulación. En particular, se observaron variaciones en la disposición del agente de sostén trazable según la estrategia de terminación realizada (entrada limitada y centralizada).

Por último, se lograron coleccionar muestras del producto durante el *flowback* y comprobar la integridad de la capa de resina y la del gadolinio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente trabajo agradecen a Walter Morris por promover la investigación inicial de agentes de sostén resinados trazables, a Eduardo Vallejo por su participación en la gestión del piloto de campo y al grupo Cividino Hnos./Sintembloc S.A por sus sugerencias y aportes en el proceso de escalado y producción industrial.

REFERENCIAS

- Arias M.L, González, D., Maceroni, C. y Martínez, G., 2017. Recubrimientos para Agentes de Sostén: Puesta en Marcha Planta Piloto de Resinado de Arena- Proyecto Y-TEC 632. YPF Tecnología. Informe inédito.
- Herrera, M., Ortiz, A., Hryb, D. y Rendtorff, N., 2019. Detectability of smart proppants traced with gadolinium and samarium in the Vaca Muerta formation, Journal of Petroleum Science and Engineering, N°179, p.312-320.
- Herrera, M., Rivelli, S. y Arias, M.L., 2019. Smart proppant trazables para evaluación de fractura: Arena resinada adicionada con óxido de gadolinio (Gd_2O_3) a escalada de laboratorio- Informe Técnico Interno ID4392-2019. YPF Tecnología. Informe inédito.
- Herrera, M. y Rivelli, S., 2020. Smart proppant trazables para evaluación de fractura: Arena resinada adicionada con óxido de gadolinio (Gd_2O_3) y óxido de samario (Sm_2O_3) en Planta Piloto (15 kg)- Informe Técnico Interno ID4437-2020. YPF Tecnología. Informe inédito.
- Herrera, M., Rivelli, S., Anaya, R. y Rendtorff, N., 2021. Smart proppant trazables para evaluación de fractura: Arena natural 30/70 resinada con óxido de gadolinio (Gd_2O_3) a escalada de laboratorio y planta piloto- Informe Técnico Interno ID4450-2021. YPF Tecnología. Informe inédito.
- Herrera, M., Rivelli, S. y Anaya, R., 2022. Smart proppant trazables para evaluación de fractura: Escalado industrial y producción de AS resinado con óxido de gadolinio (Gd_2O_3) para piloto de campo- Informe Técnico Interno de Y-TEC ID 0004-2022. YPF Tecnología. Informe inédito.
- Rivelli, S., Anaya, R. y Herrera, M., 2020. Smart proppant trazables para evaluación de fractura: Agentes de sostén cerámicos resinados con óxido de gadolinio (Gd_2O_3) a escalada de laboratorio y planta piloto-Informe Técnico Interno ID4435-2020. YPF Tecnología. Informe inédito.
- Rivelli, S., Aguirre, A. y Herrera, M., 2020. Relevamiento de proveedores nacionales para el resinado de agentes de sostén- Informe Técnico Interno ID4434-2020. YPF Tecnología. Informe inédito.
- Smith, H.D., Smith, M.P. y Duenckel, R., 2012. Methods of identifying high neutron capture cross section doped proppant in induced subterranean formation fractures. US Patent 8,234,072.
- Smith, H.D. y Duenckel R., 2014. Spectral identification of proppant in subterranean fracture zones. US Patent 8,648,309.