

## ALTERNATIVAS DE ADQUISICIÓN DE MICROSÍSMICA DE SUPERFICIE PARA LA FM. VACA MUERTA EN POZOS CON CAMISAS DESLIZANTES ACTIVADAS MEDIANTE COILED TUBING

Ruth Ehlich<sup>1</sup>, Juan Moirano<sup>1</sup>, Luis Vernengo<sup>1</sup>

1: Pan American Energy, rehlich@pan-energy.com, jmoirano@pan-energy.com, lvernengo@pan-energy.com

Palabras clave: Microsísmica de superficie, Camisas deslizantes, Coiled Tubing, Estrella, Parches

### ABSTRACT

Surface Microseismic Acquisition Alternatives for Vaca Muerta Fm. in wells with coiled tubing activated sliding sleeves.

As part of the development of Vaca Muerta Fm. in Neuquén Basin Bandurria Centro field, surface microseismic was acquired during hydraulic stimulation in a 1500 m drain horizontal well.

The company has been using sliding sleeves frac ports to complete horizontal wells, activated by both ball mechanism and/or coiled tubing (CT). In most of the wells both systems are employed, which mean a challenge to calibrate any microevents data set. Due to this a feasibility study was made before the microseismic acquisition, in order to test several surface and well monitoring designs.

From feasibility study results a mixed design was implemented in surface, consisting of two asymmetric arranges: a star and a set of patches, both equivalent and complementary.

In this job some raw records and processed data are presented. Also, examples of registered CT activated sliding sleeves microevents and some differences between the star design and the patches design found during the field implementation and later processing will be included.

### INTRODUCCIÓN

El yacimiento Bandurria Centro se encuentra en el centro de la provincia de Neuquén, en lo que se conoce como engolfamiento neuquino (Fig. 1). Actualmente el desarrollo del campo está focalizado en la sección inferior de la Fm. Vaca Muerta donde los niveles con margas bituminosas muestran los mayores valores de contenido orgánico total y conforman la zona de interés, en promedio, a 2800 m de profundidad desde el nivel del terreno. La producción de hidrocarburos se obtiene mediante pozos horizontales de hasta 5500 m de pozo perforado, alcanzando los 2500 m de longitud de drenaje. Para la terminación de los pozos perforados en 2017 se emplearon puertos de fractura con camisas deslizantes (NCS, 2018) activadas con mecanismo de bola (Lohoefer *et al.*, 2006) o mediante coiled tubing (CT) (Ravensbergen 2011; Baker Hughes 2003).



Figura 1. Ubicación

Con el objetivo de optimizar los distanciamientos entre las ramas laterales contiguas de los pozos, comprender y mejorar las estimulaciones hidráulicas futuras, se decidió adquirir microsísmica durante la terminación de un pozo.

Ante la premisa de que se iban a utilizar camisas deslizantes para realizar la estimulación y el bombeo iba a ser de bajo caudal, conociendo la profundidad y la litología que se iba a contactar, se decidió realizar un estudio de factibilidad para el monitoreo desde superficie y desde pozo, el cual proporcionó una serie de diseños alternativos con distinta cantidad de canales receptores y distribución de los mismos.

Una incógnita difícil de resolver a partir del modelado fue si los eventos originados por la apertura de la camisa tendrían la magnitud suficiente para ser detectados, y en ese caso, si se podrían utilizar para la calibración del modelo de velocidad a implementar en el procesamiento de los microeventos resultantes de la estimulación.

De acuerdo a los resultados de la factibilidad, se decidió probar en campo dos diseños de

adquisición en superficie: uno conformado como estrella y otro basado en parches, ambos distribuidos en la misma área. Se descartaron otras alternativas para superficie y para monitoreo desde algún pozo cercano.

En este trabajo se describirán algunos puntos del estudio de factibilidad y sus principales conclusiones, se mostrarán ejemplos de registros obtenidos en el campo durante la adquisición y resultados iniciales de la etapa de procesamiento, actualmente en desarrollo.

## METODOLOGÍA

Se realizó un estudio de factibilidad teniendo en cuenta la profundidad del objetivo, perfiles de velocidad de ondas P, S y densidad de pozos cercanos e información estructural proveniente de la interpretación de sísmica 3D. No se contó con un perfil del factor de atenuación inelástica por lo que se utilizaron valores constantes promedio tanto para ondas P como para ondas S.

Se realizaron modelados de campo de ondas por diferencias finitas y cálculo de atributos por trazado de rayos a partir de focos con mecanismos de doble cupla y de falla normal. Se plantearon escenarios de monitoreo tanto desde superficie como desde pozo, considerando para ello un pozo horizontal vecino. Se simularon arreglos de sensores 3C ubicados en las ramas vertical y horizontal del pozo monitor. Para los arreglos superficiales se utilizaron dispositivos conformados por sensores 1C dispuestos en formato de estrella y por matrices bidimensionales o parches (Fig. 2).

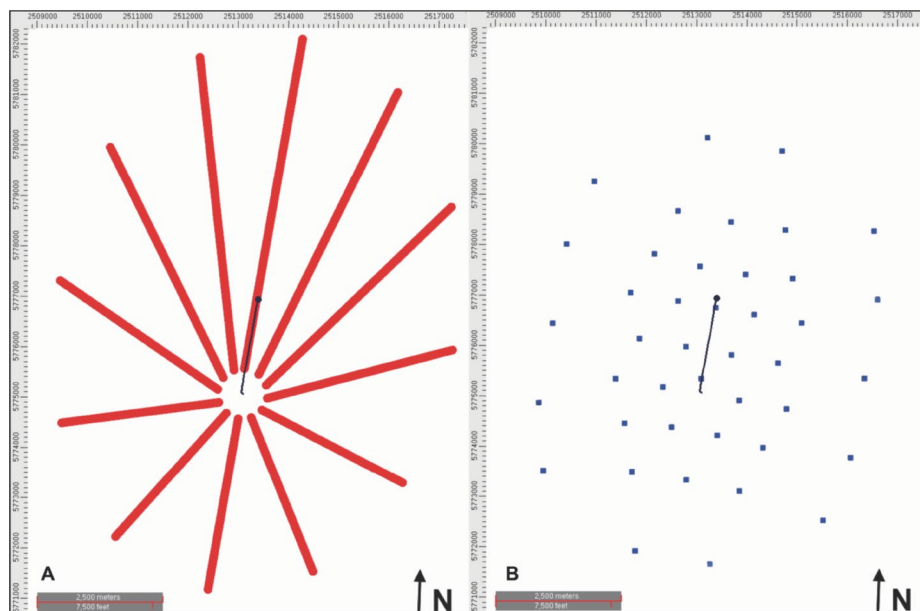


Figura 2. A- Diseño tipo estrella con 12 brazos radiales con 1078 canales, con estaciones cada 50 m. Apertura máxima de 7 km, zona de exclusión de 500 m. B- Diseño con 42 estaciones tipo parches. Cada parche compuesto por 24 canales, resultando un total de 1008 canales. Apertura máxima de 5 km.

Las simulaciones con distinto nivel de ruido ambiente promedio muestran que en teoría, incluso en malas condiciones (100 nm/s) los dispositivos propuestos en superficie podrían detectar eventos de magnitudes alrededor de -2,5 a la profundidad del objetivo (Figs. 3 y 4).

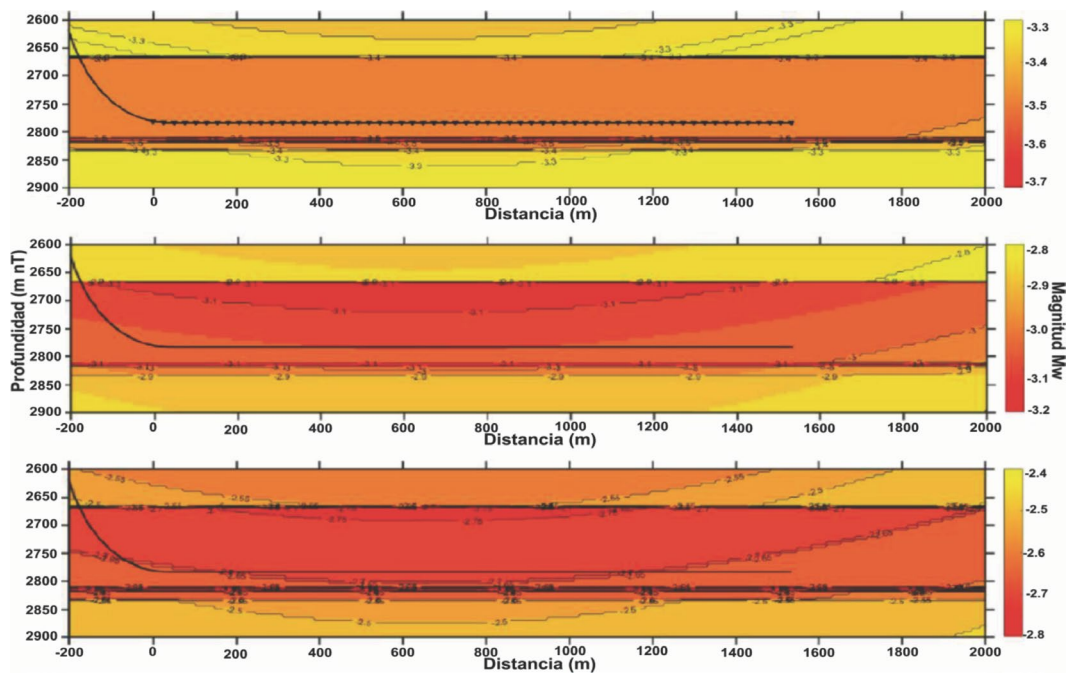


Figura 3. Vista en sección de la sensibilidad del diseño estrella para tres niveles de ruido promedio, de arriba hacia abajo, de 30, 70 y 100 nm/s.

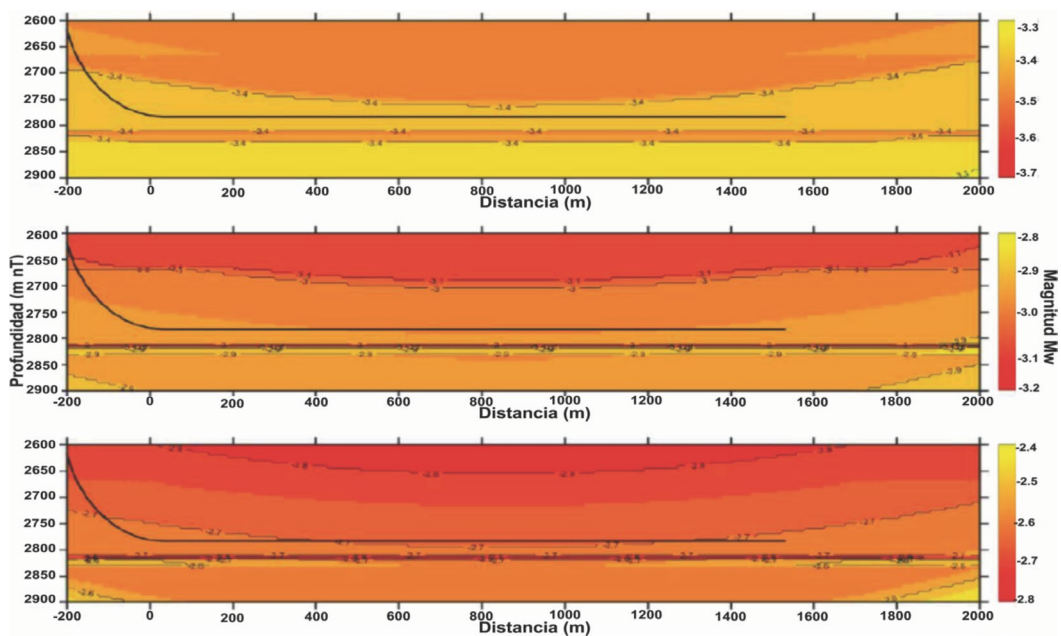


Figura 4. Vista en sección de la sensibilidad del diseño de parches para tres niveles de ruido promedio, de arriba hacia abajo, de 30, 70 y 100 nm/s.

En el caso de los dispositivos dispuestos en un pozo horizontal cercano, la Fig. 5 muestra la sensibilidad según la distancia para un arreglo de 12 geófonos desplegado en la sección vertical del pozo monitor a 2800 m bajo nivel del terreno aproximadamente y ubicado a 300 m del pozo en tratamiento. Se puede observar también el corto alcance de éste diseño a los eventos ubicados en la sección más lejana del pozo a ser monitoreado.

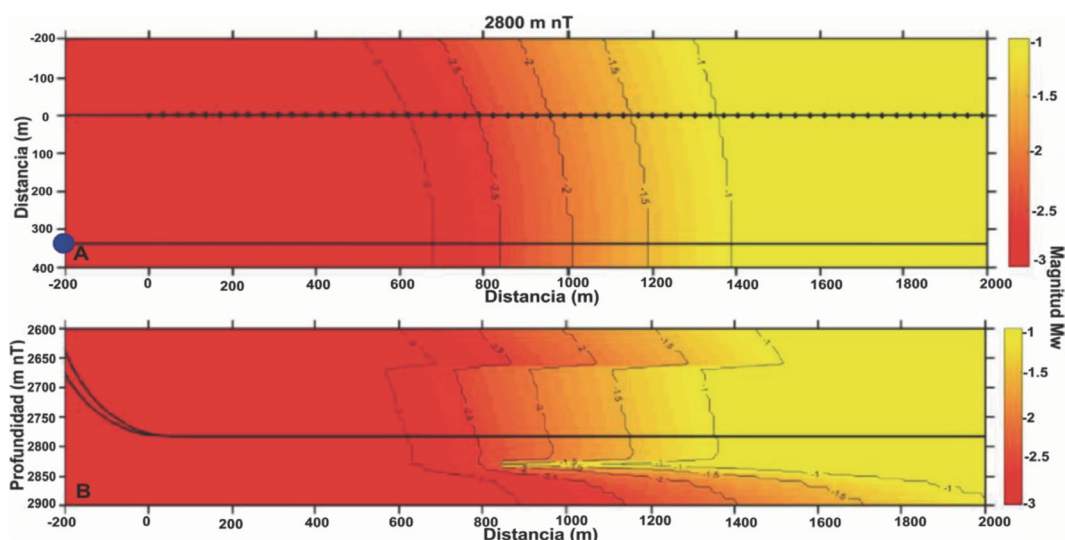


Figura 5. Sensibilidad del arreglo vertical en pozo cercano. Vista en planta a 2800 m de profundidad y en sección (A y B).

La Fig. 6, en cambio, muestra la sensibilidad de un arreglo de 12 receptores dispuestos en la rama horizontal del pozo monitor paralelo a la zona de estimulación.

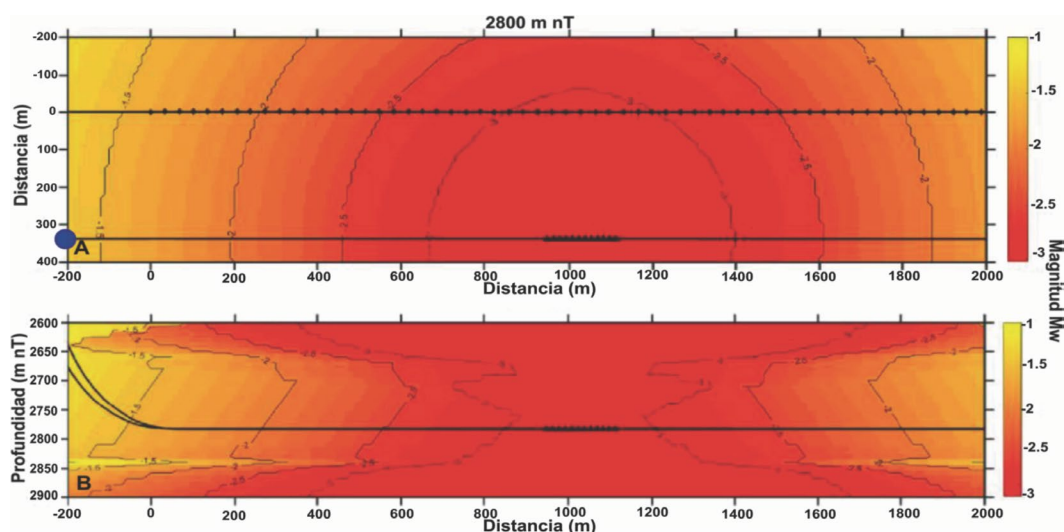


Figura 6. Sensibilidad del arreglo vertical en pozo cercano. Vista en planta a 2800 m de profundidad y en sección (A y B).

En las simulaciones también se observó que se requieren buenas distribuciones de azimut y distancias horizontales a los focos de hasta 4 km para poder cubrir la máxima variedad de ángulos en la esfera focal (Fig. 7).

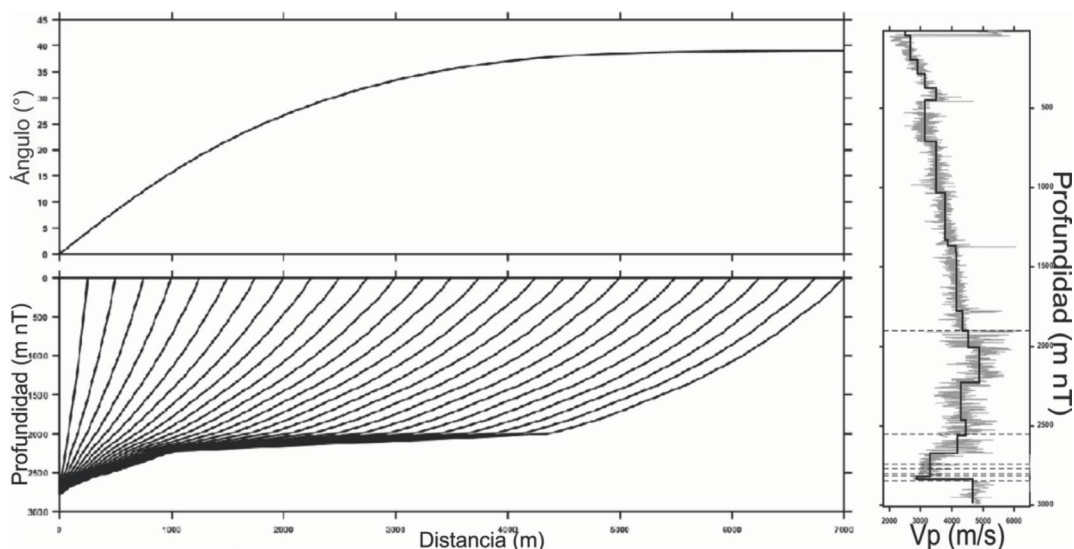


Figura 7. Distancia vs Ángulos de esfera focal. Modelo de velocidad 1D.

Para los arreglos dispuestos en pozo (Figs. 5 y 6), se observó una gran sensibilidad a los errores en el modelo de velocidad dados los grandes contrastes existentes entre las distintas secciones de la Fm. Vaca Muerta y la porción profunda de la Fm. Quintuco. Los dispositivos en superficie sufren menos por estos inconvenientes ya que solo una pequeña parte del recorrido de los rayos relevantes al problema se realiza dentro de intervalo Quintuco-Vaca Muerta y las trayectorias, aunque más largas, son mucho más sencillas.

Dada la longitud de la rama horizontal del pozo, a fin de monitorear un conjunto de etapas de fractura bien distribuido en toda su extensión y tener una buena sensibilidad para la estimación de mecanismos focales, se decidió utilizar un dispositivo sensor en superficie.

Mientras que se han registrado varias experiencias exitosas de monitoreo de microsísmica en superficie con diseños estrella (Duncan y Eisner, 2010), el diseño de parches nunca había sido implementado en Argentina. En trabajos en otras partes del mundo hay cuenta de resultados exitosos, donde el dispositivo explota su capacidad natural para filtrar ruidos aleatorios, mejorando la sensibilidad a los microeventos en subsuelo (Auger *et al.* 2013; Roux *et al.* 2014). Además de ésta ventaja, el diseño presenta la flexibilidad de ubicar los parches en zonas con mejores características geográficas o accesos, siempre que se mantenga el muestreo de la esfera focal. Esto último en la práctica permitiría eludir inconvenientes con superficiarios o zonas con mucho ruido.

En consecuencia se optó por adquirir con ambas distribuciones en superficie. Se implementaron

las versiones más económicas cuya sensibilidad, de acuerdo a la factibilidad, cubrían el objetivo propuesto. Esto permitiría, en una etapa posterior, comparar la efectividad de cada diseño, de procesarse separados, o de aprovechar toda la información en un procesamiento conjunto.

La asimetría de los dispositivos responde a la necesidad de cubrir la totalidad de la rama horizontal del pozo con una calidad de información homogénea en cuanto a distribución de observaciones sobre la esfera focal.

El pozo a ser monitoreado se entubó con 60 puertos de fractura con camisas deslizantes cada 25 m. Durante la estimulación se utilizaron presiones de hasta 10 kpsi en superficie durante 2 horas de bombeo por etapa. Las fracturas fueron consecutivas en operación de 24 hrs. La operación de adquisición se programó para registrar todas las etapas de estimulación del pozo.

La topografía del área presentó pocos desafíos. El regado de geófonos se realizó sin inconvenientes, salvo algunos cruces de caminos o senderos frecuentados por el ganado local. Debido al fuerte viento que suele haber en la zona, se prefirió enterrarlos de manera somera.

Para el caso del diseño en estrella, cada estación contó con un arreglo lineal de geófonos tipo Sensor SM24, como se muestra en la Figura 8, con orientación paralela a cada brazo.

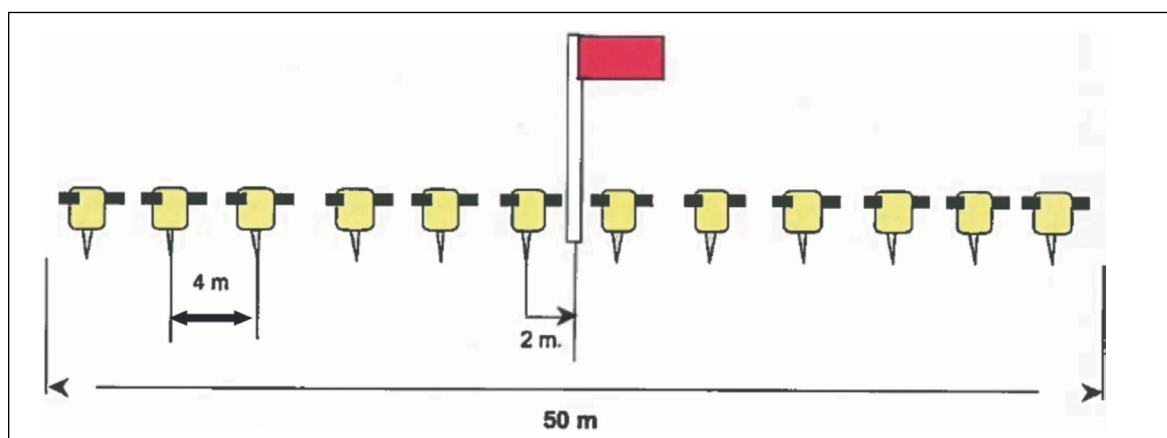


Figura 8. Disposición del arreglo de geófonos en el diseño estrella.

Para el caso del diseño con parches, se observó una incompatibilidad entre el diseño original del arreglo (Fig. 9A) y la longitud del cable entre geófonos disponible en el campo. Se propuso un arreglo alternativo, que se observa en la Fig. 9B, y finalmente se implementó la configuración que se muestra en la Fig. 9C, en donde en vez de obtener una traza por arreglo de geófonos, se obtuvieron dos.

Para tener una referencia de tiempo que pudiera vincular el registro del tendido con la actividad de la estimulación hidráulica, se colocó en la boca de pozo un geófono testigo, que revelara el accionar de la camisa (canal 1).

En los registros de campo durante las pruebas pudo observarse bajo ruido ambiente, y durante la adquisición pudieron registrarse tanto los microeventos asociados a la apertura de camisas como

a la actividad de estimulación. Durante todo el trabajo se mantuvo un bajo nivel de ruido.

En la Fig. 10A se observa el perfil de presión correspondiente al CT registrado en boca de pozo, donde la caída de presión (indicada con una flecha) señala el instante de la apertura de camisa. Éste tiempo es sólo indicativo pues corresponde al reloj interno de una PC de la compañía de servicio de CT. Igualmente se lo utilizó como referencia para encontrar el evento en el canal 1, correspondiente al geófono testigo de boca de pozo (T0), en los registros microsísmicos (sincronizados con tiempo GPS), como se muestra en la Fig 10B. La Fig. 11 muestra la detección de la apertura de camisa en varias ramas de la estrella, mientras que la Fig. 12 lo hace para un grupo de parches.

La Fig. 13 muestra la detección de un mismo microevento en ambos dispositivos.

La gran variedad de azimut y offsets en que fueron registrados los eventos, como los ejemplos de las Figs. 10, 11, 12 y 13, hicieron posible la estimación de esos mecanismos de foco.

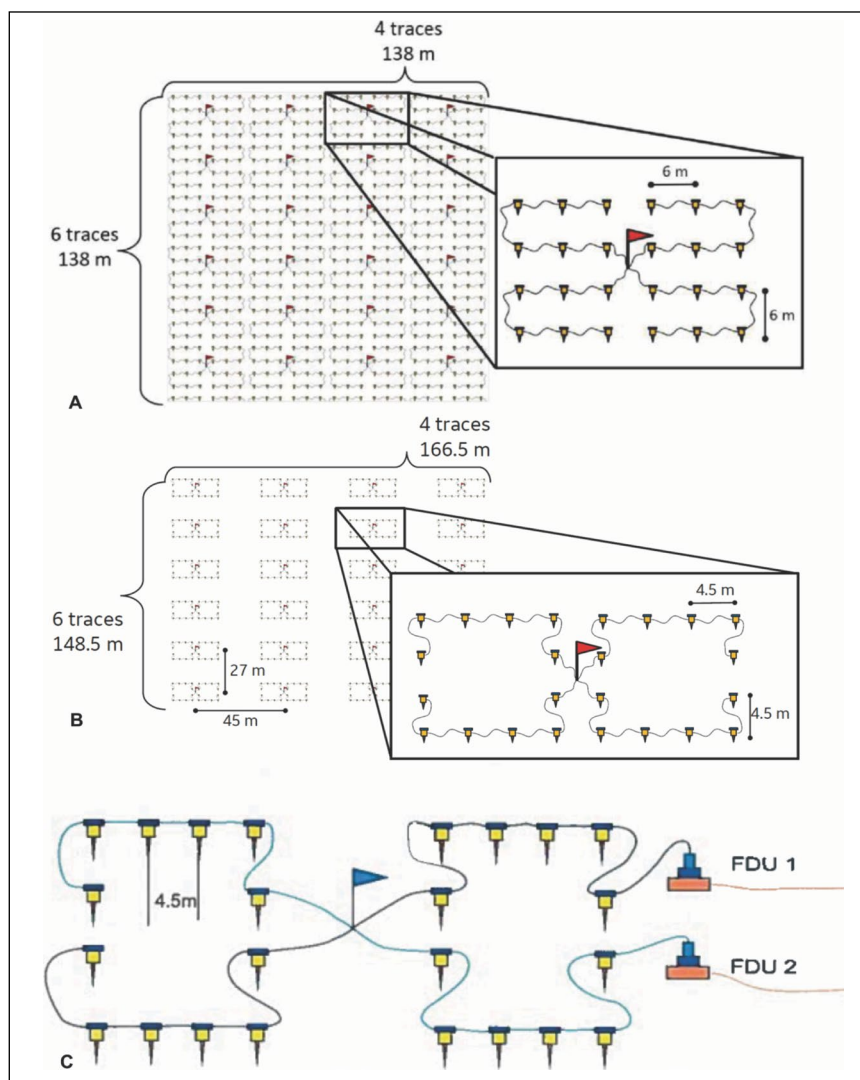


Figura 9. A- Recomendación por diseño de distribución de geófonos en cada parche. B- Reconfiguración de distribución ante limitación de distancia entre geófonos. C- Implementación final en el campo de las conexiones de geófonos en cada parche.

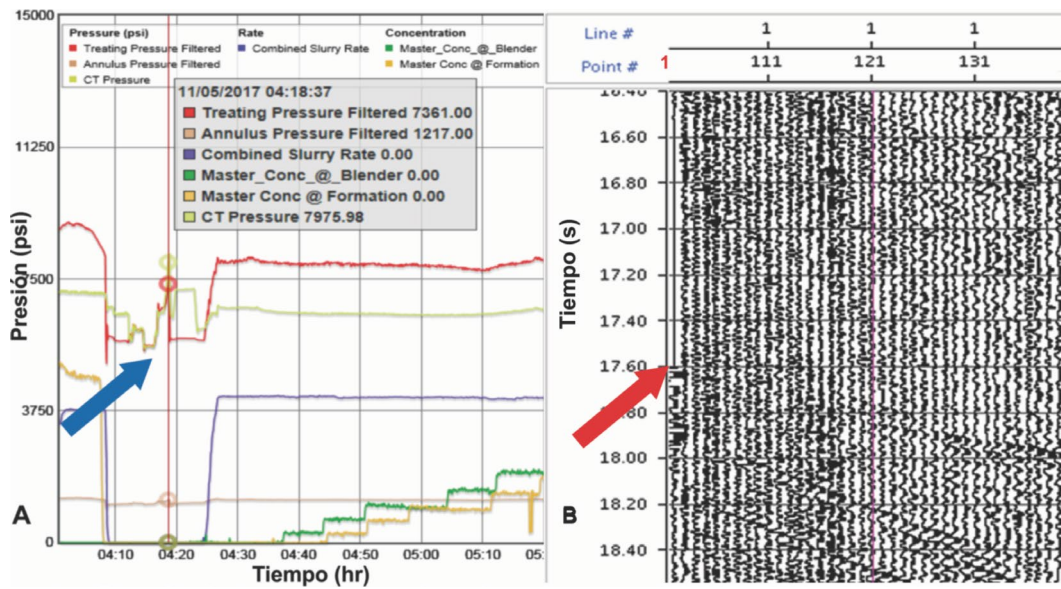


Figura 10. A- Caída de presión de CT (indica apertura de camisa). B- Señal correspondiente al geófono testigo en boca de pozo indicando la apertura de camisa.

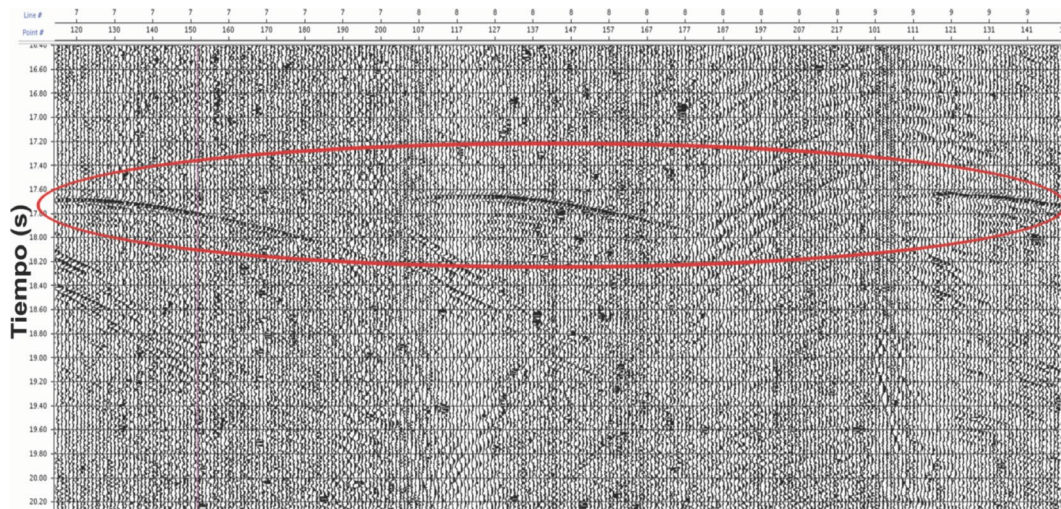


Figura 11. Registro de apertura de camisa en canales correspondientes a la estrella.

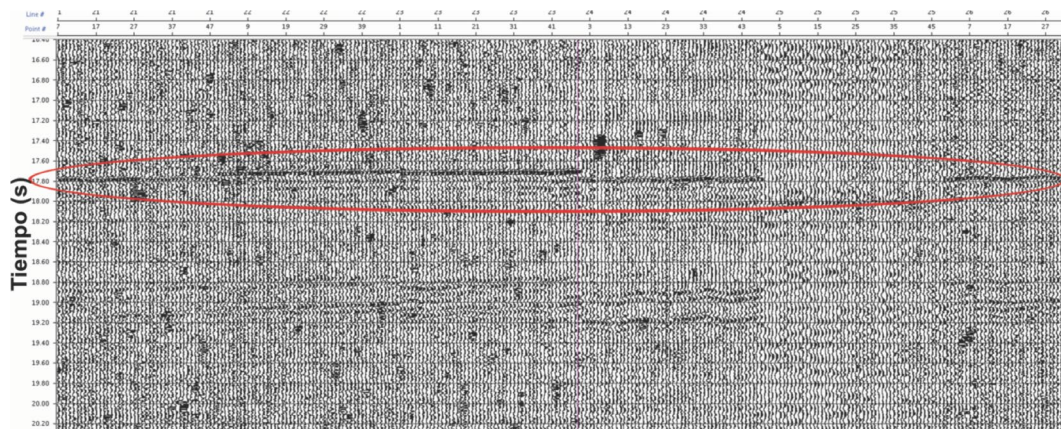


Figura 12. Registro de apertura de camisa en canales correspondientes a parches.

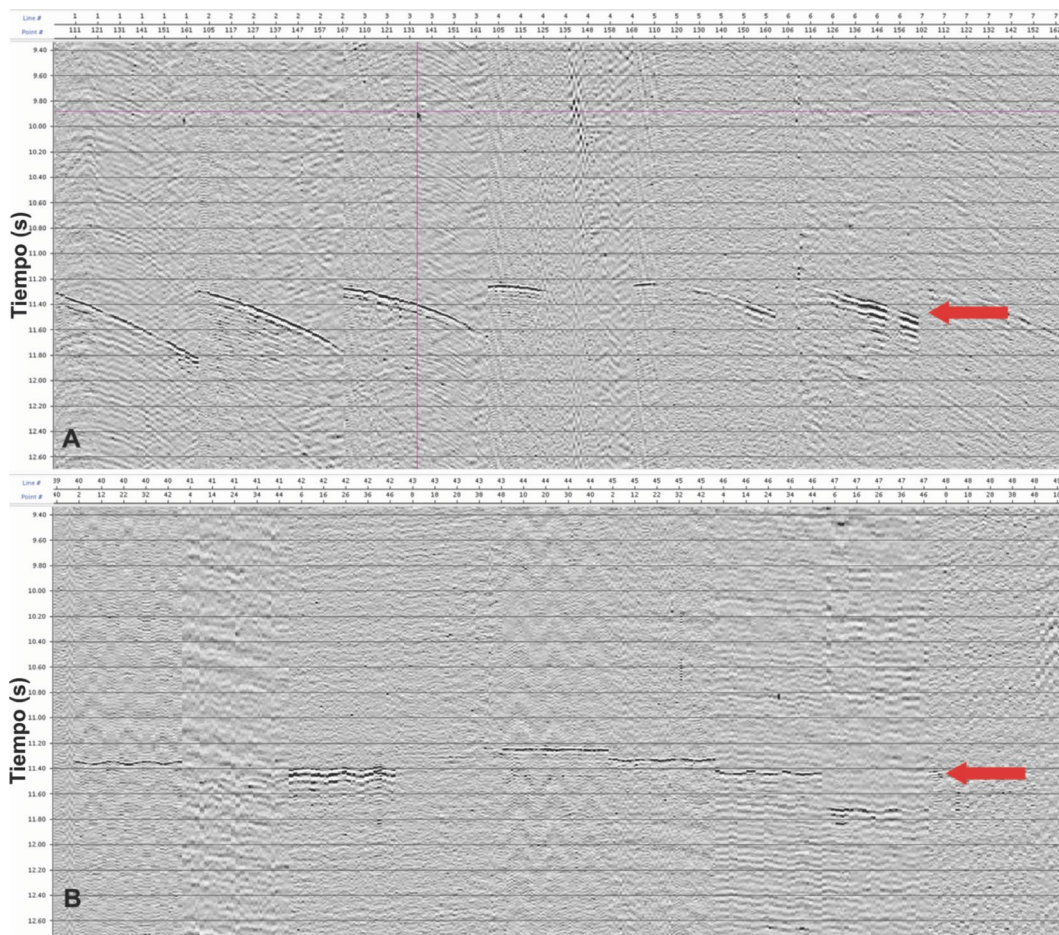


Figura 13. Microevento registrado en estrella (A) y parches (B).

Desafortunadamente debido a un problema operativo en el pozo, habiéndose registrado 27 etapas de fractura, el trabajo de adquisición microsísmica se debió suspender. Ante ésta situación y a fin de asegurar la calibración del modelo de velocidad, aún sin contar con microeventos de apertura de camisas cercanas al talón del pozo, se decidió detonar una cuerda explosiva (string shot) en la sección vertical del pozo, aproximadamente a 100 m por encima de la profundidad de navegación. Se manejó una carga con potencia moderada (3 m) pero con suficiente energía para ser detectada por los dispositivos superficiales, y así contar con un dato confiable para su posterior uso en la etapa de procesamiento.

Para el registro del string shot se adicionó en boca de pozo un canal más (canales 1 y 3) y se colocó un canal extra (canal 2) para registrar el T0 (tiempo inicial) del disparo (Fig 14).

Finalizado el trabajo de adquisición microsísmica, se continuó con el procesamiento de los registros de sólo una etapa de fractura a modo de prueba, actualmente en curso. Se utilizaron para la calibración dos microeventos de apertura de camisa y el microevento de string shot. En la sección siguiente se muestran algunos resultados.

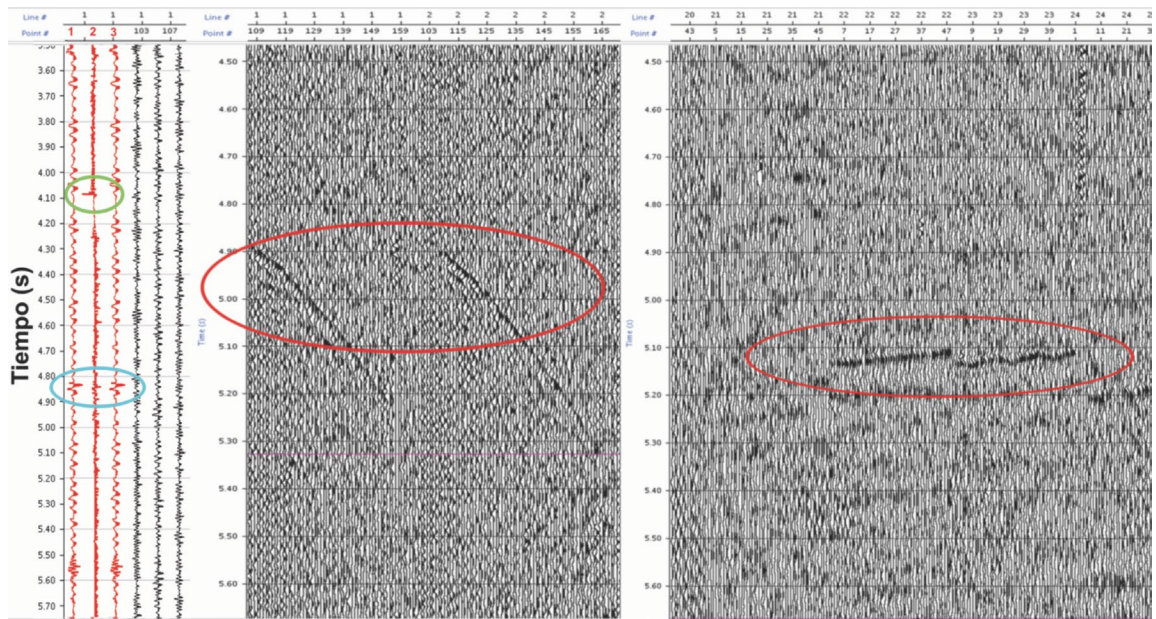


Figura 14. Momento de disparo del string shot (T0) y microevento correspondiente en canales testigos de boca de pozo, canales estrella y canales parches.

A fin de indicar un orden de magnitud espacial relativo entre las ubicaciones de las camisas utilizadas, el string shot y los receptores en superficie de ambos dispositivos, se incluyen las Figs 15 y 16.

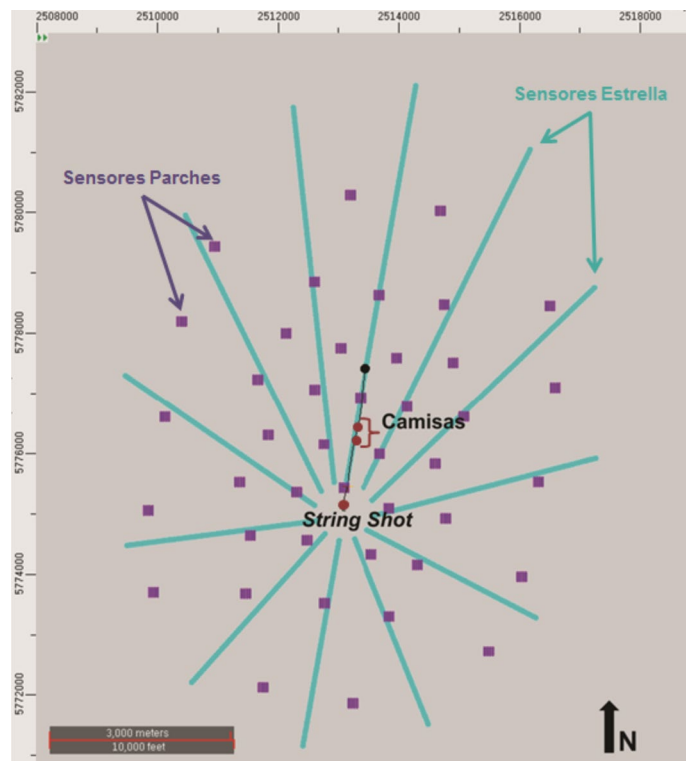


Figura 15. Vista en planta de string shot, camisas y sensores.

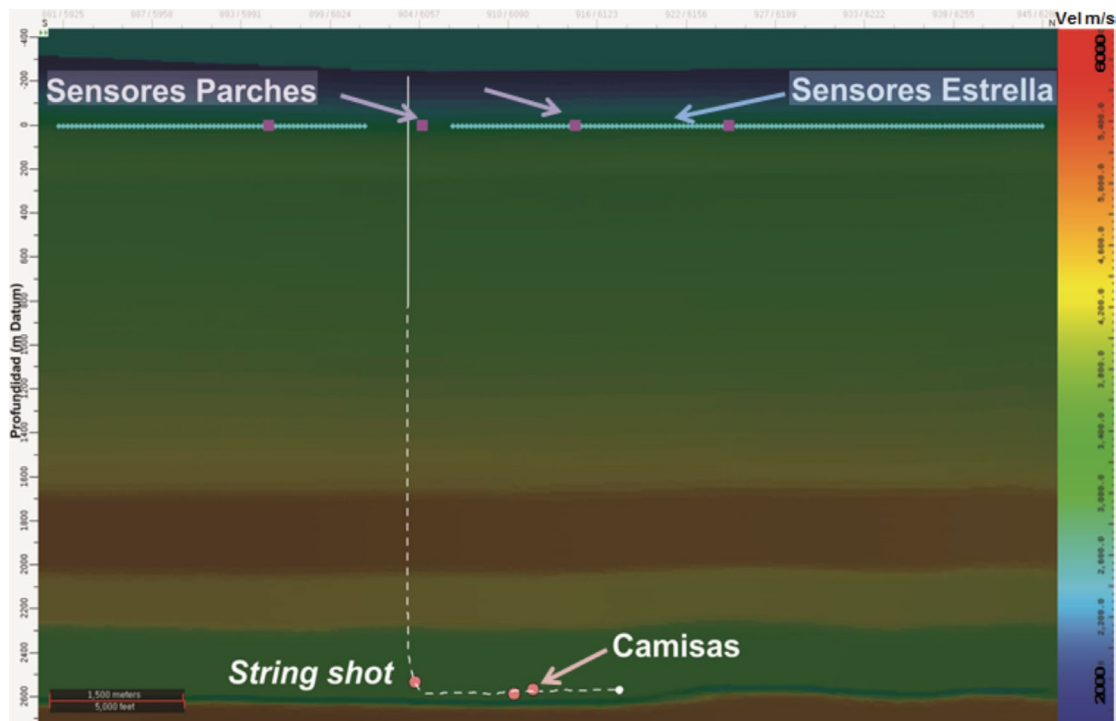


Figura 16. Sección sobre pozo, paralela al eje mayor y menor del diseño estrella.

## RESULTADOS

En la etapa de procesamiento inicial se verificó la viabilidad del uso de los microeventos por la apertura de camisas y el string shot para la calibración del modelo. Con el modelo calibrado mediante los microeventos mencionados se recalculó una función de densidad de probabilidad para la ubicación de los mismos. La diferencia entre éstas posiciones corregidas y las reales son una indicación de la precisión de la locación de los microeventos. En la Fig. 17 se muestran ejemplos del posicionamiento, luego de calibrar, de dos de los tres microeventos utilizados.

El análisis de los datos confirmó la percepción inicial de bajo nivel de ruido ambiente, detectándose un valor promedio menor a 25 nm/s (Fig. 18), menor al nivel de ruido más optimista utilizado en la factibilidad.

No se observaron diferencias significativas al procesar de manera separada los datos provenientes del diseño estrella del de parches, sino que ambos dispositivos detectaron una cantidad similar de eventos, con errores en la localización del mismo orden de magnitud.

El procesamiento inicial está aún en curso pero se puede afirmar que:

- Sólo se observó una pequeña porción de eventos adicionales detectados con la estrella en comparación a los parches.
- Se logró detectar los eventos de desplazamiento de camisas y utilizarlos para calibrar el modelo de velocidad.

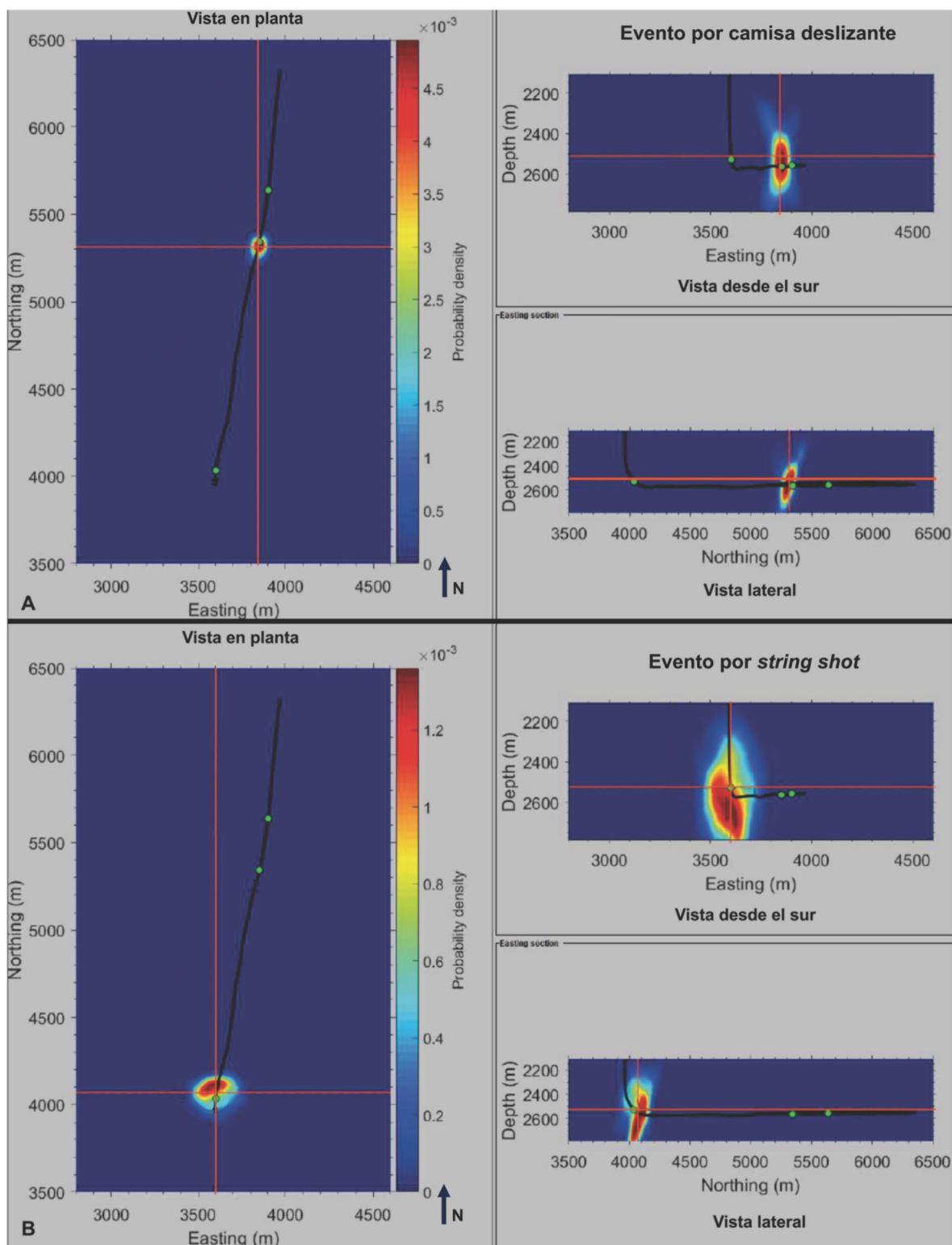


Figura 17. Función de densidad de probabilidad de ubicación de microeventos correspondientes a apertura de camisa (A) y string shot (B).

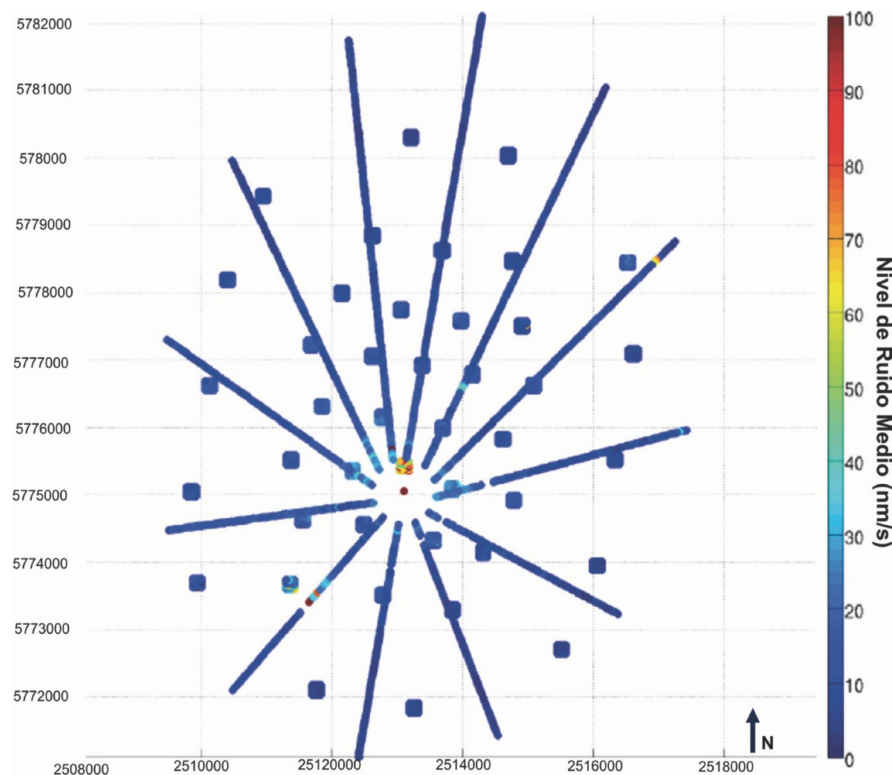


Figura 18. Nivel del ruido presente en los datos durante el registro.

- Los microeventos para la calibración fueron detectados por una cantidad suficiente de estaciones como para estimar sus mecanismos focales.
- Las magnitudes estimadas para el string shot y los desplazamientos de camisas son del mismo orden.

## CONCLUSIONES

Los desplazamientos de camisa por acción del CT a profundidades de aproximadamente 2800 m bajo el nivel del terreno en Fm. Vaca Muerta producen eventos microsísmicos que son detectables desde superficie con cualquiera de los dos dispositivos utilizados. Además, es posible analizar estos eventos en una porción del dispositivo sensor suficientemente grande como para poder resolver sus mecanismos de foco.

Los eventos generados por los desplazamientos de camisa presentan magnitudes del orden o incluso mayores que los generados por el string shot.

En consecuencia, se ha visto que los desplazamientos de camisa por CT proveen eventos, a lo largo de todo el tramo estimulado del pozo, adecuados para calibrar el modelo de velocidad para el procesamiento de la información microsísmica.

Se mostró también que las condiciones de registración de este yacimiento, combinadas con

una adecuada metodología de plantado de los sensores en el terreno y moderadas condiciones meteorológicas dan como resultado un nivel de ruido ambiente inferior a 25 nm/s. En éste escenario el diseño de parches no presenta mayores ventajas de supresión de ruido aleatorio respecto al de estrella.

Ambos dispositivos de registración en superficie, estrella y parches, se han probado adecuados para detectar y analizar mecanismos de foco de eventos.

## AGRADECIMIENTOS

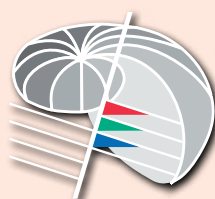
Agradecemos a Pan American Energy la autorización para la publicación del presente trabajo.

Agradecemos al personal de PAE del Yacimiento de Bandurria Centro y Lindero Atravesado por el apoyo logístico en el campo durante la etapa de adquisición del trabajo de microsísmica.

A Pablo Ferguson que con su experiencia y excelente desempeño como supervisor nos acompañó durante todo el proceso de factibilidad y adquisición.

## REFERENCIAS CITADAS

- Auger, E., E. Schisselé-Rebel y J. Jia, 2013, "Suppressing noise while preserving signal for surface microseismic monitoring: The case for the patch design", SEG Technical Program Expanded Abstracts 2013: pp. 2024-2028.
- Baker Hughes, 2003, "Coiled Tubing Handbook", Page 53.
- Duncan, P., L. Eisner, 2010, "Reservoir characterization using surface microseismic monitoring", Geophysics, 75(5), 75A139-75A146.
- Lohoefer, D., R. Allen Seale, J. Athans, 2006, "New Barnett Shale Horizontal Completion Lowers Cost and Improves Efficiency", SPE-103046.
- NCS Web Page, 2018, "MultiCycle frac sleeve", [www.ncsmultistage.com/fracturing-systems/multicycle-frac-sleeve](http://www.ncsmultistage.com/fracturing-systems/multicycle-frac-sleeve).
- Ravensbergen, J. E., 2011, "Cased-Hole Multizone Fracturing: A New Coiled Tubing Enabled Completion", SPE-143250.
- Roux, P. F., T. Bardainne, J. Kostadinovic, L Pignot, 2014, "Increasing the accuracy of microseismic monitoring using surface patch arrays and a novel processing approach", First Break 32(7):95-101.



**10° CONGRESO DE  
EXPLORACIÓN Y  
DESARROLLO DE  
HIDROCARBUROS**

**Energía y Sociedad**  
aliados inseparables  
**Mendoza 2018**