

REGISTRO DE ONDAS CONVERTIDAS EN EL MONITOREO MICROSÍSMICO DE SUPERFICIE

Marcelo Roizman¹, Marc Grausem², Pablo Ferguson²

1: GeoNodos. marcelo.roizman@geonodos.com

2: Marc Grausem, Total Austral. marc.grausem@total.com, pablo.ferguson@total.com

Palabras clave: Microsísmica, Ondas P, Ondas S, Anisotropía

ABSTRACT

Converted-wave recorded in surface microseismic monitoring

This work shows the results obtained from an arrival that comes immediately after a P-wave obtained from a surface monitoring. These recordings belong to a fracturing work of an unconventional hydrocarbon deposit from which it would be very useful to obtain as much information as possible from the data collected. In this second arrival it is possible to observe characteristics that make us suppose that it is a shear S-wave. Given that these recordings belong to a microseismic study, and that they were acquired using only vertical geophones, it is not possible to assure the nature of this arrival in a preliminary study of particle movement. If the recordings were of three components, it would be possible to discriminate between these second arrivals studying the polarization by composing the horizontal and vertical components. The following has been observed: Determination of average velocity, amplitude analysis according to *offset* and azimuth. The feasibility of recording S-waves with vertical geophones was posed as well as the benefits of counting with S-waves recordings at perforation stage. The use of this secondary event has been proposed for further study.

INTRODUCCIÓN

La limitación de la circulación de fluido de un pozo con un tapón, y luego la perforación de las paredes del mismo con cargas explosivas, denominadas punzados, son dos de los primeros pasos en el proceso de la fracturación hidráulica para yacimientos no convencionales. Estos dos procesos, el taponado y el punzado, son en general monitoreados desde un pozo testigo y/o desde la superficie, y los registros de esos monitoreos sirven para obtener una calibración o estimación de los tiempos de arribo de los eventos microsísmicos, que serán inducidos por la posterior inyección de fluido. La fuente explosiva utilizada en el punzado, produce en general un registro de buena calidad con aceptable energía en el arribo de ondas P y una gran cantidad de arribos secundarios. Estos arribos secundarios pueden ser observados en un monitoreo superficial, pero no son estudiados a pesar de que podrían aportar valiosa información del medio elástico que rodea a un experimento de fracturación.

En el análisis de uno de esos arribos secundarios, nos concentraremos particularmente en una fase sísmica detectada inmediatamente después de un arribo primario, en la cual podemos resaltar ciertas características particulares, que podrían llevarnos a clasificarla como una onda de corte “S”. De todas maneras, no queda del todo definido su naturaleza, principalmente por el hecho de que el monitoreo de superficie fue realizado enteramente con receptores verticales. En la Figura 1 se pueden ver los arribos de ondas P correspondientes a un punzado, corregido por NMO y anisotropía azimutal, quedando estos arribos de ondas compresionales perfectamente horizontales. Inmediatamente después del arribo P, se pueden observar claramente dos fases: La primera de estas dos últimas fases corresponde a la fase estudiada en este trabajo que llamaremos “S” (2) y la segunda (3) está compuesta por arribos lineales dispersivos correspondientes a ondas superficiales, que tienen su origen en la onda tubo convertida en la boca del pozo. En la Figura 2 podemos ver un detalle del arribo primario en color azul (Figura 2a) y el arribo secundario en color verde (Figura 2b), donde se puede observar la diferencia en la velocidad aparente, pero la gran concordancia en la forma de estos arribos (Figura 2a).

OBSERVACIÓN

Velocidad

La Figura 3 presenta una comparación de las velocidades medias de P y del segundo arribo “S” en función del azimut. Se observa que la relación $V_p/V_{“S”}$ promedio es cercana a 2.0, con lo que se podría inferir que este segundo arribo es una onda S (Witten 2013). Por otra parte existe una concordancia entre los dos frentes de onda, mostrando una curvatura similar, esto indicaría que el segundo arribo tiene la misma fuente o es una onda convertida en un punto muy cercano a la fuente explosiva generadora de la fase P.

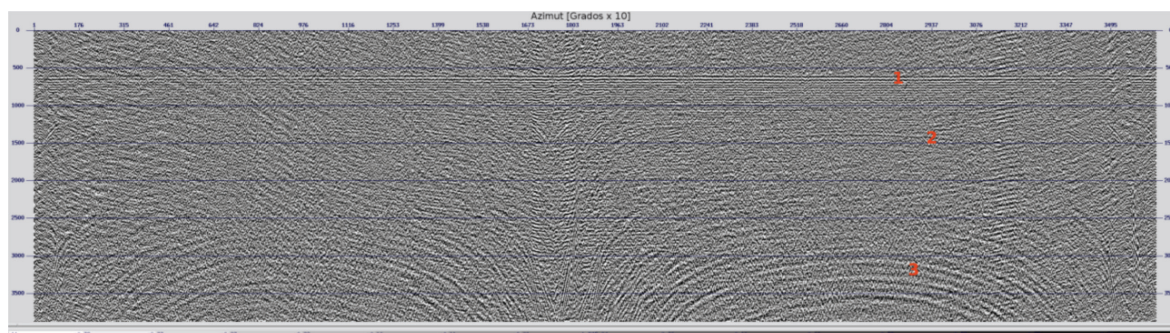


Figura 1. Registro de Punzado corregido con velocidad media modelada por azimut. (1) Arribo P, (2) arribo “S” y (3) Arribos Ondas Superficiales.

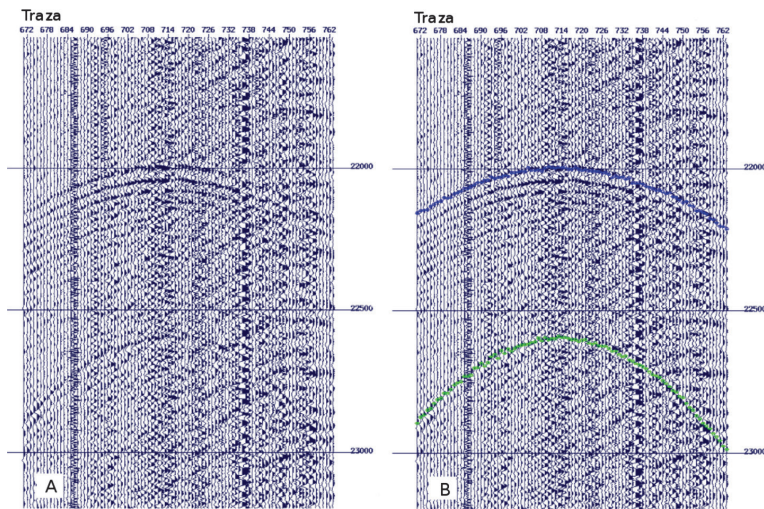


Figura 2. Línea receptora seleccionada del registro del punzado, con ápice en 22000 ms el primer arribo (interpretada con puntos azules en la Figura B), con ápice a 22625 ms el segundo arribo (interpretada con puntos azules en la Figura B).

Amplitud

Si ordenamos los datos registrados en función de la distancia a la fuente (Figura 4) podemos ver que hay tres arribos principales. Analizando la energía de estos arribos (Figura 5) podemos ver que el arribo (1) disminuye monótonamente su intensidad a medida que las distancias crecen hasta diluirse por completo.

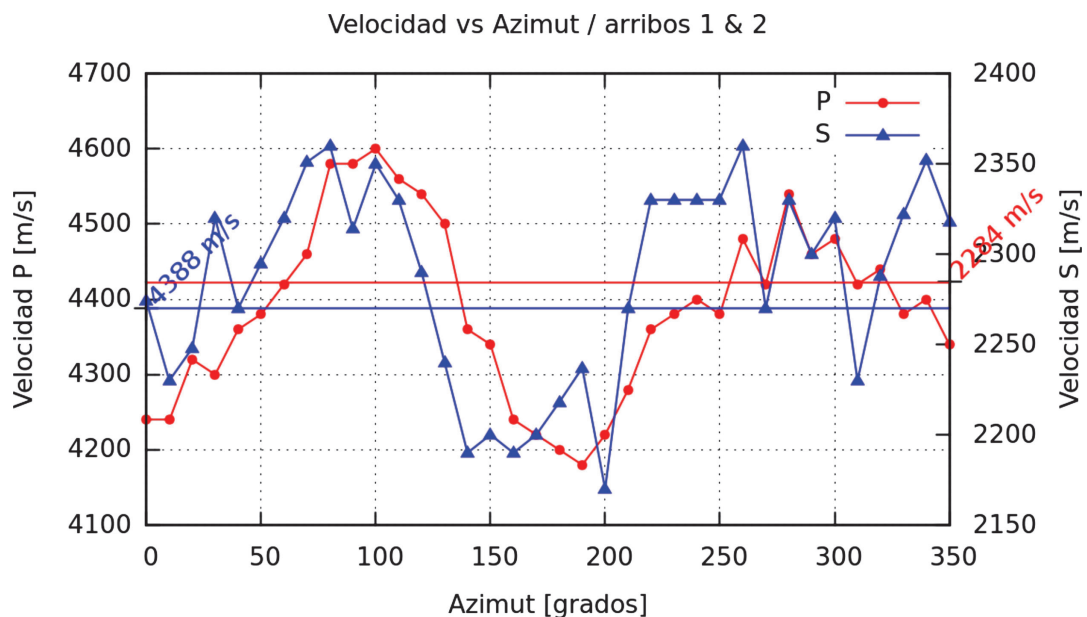


Figura 3. Velocidades medias en función del azimut para el primer y el segundo arribo, Velocidad promedio de 4388 m/s y 2284 m/s para el primer y segundo arribo respectivamente.

Contrariamente a esto, en la Figura 5 el arribo (2) aumenta su amplitud hacia las distancias medias y luego si comienza a disminuir. Este fenómeno se podría explicar si tenemos en cuenta que: Viendo la respuesta de un geófono vertical (Figura 6) advertimos que a medida que una onda P aumenta su ángulo de incidencia, la función de transferencia del dispositivo disminuye para ese tipo de ondas (White 1965). Por el contrario, para una onda SV cuyas partículas se mueven en el mismo plano que la onda P pero con un ángulo de 90° , la función de transferencia aumenta teniendo su máximo entre los 30° y 60° grados. Por lo tanto como a medida que nos alejamos del centro del experimento de fractura, los rayos emergentes inciden con mayor inclinación sobre los receptores, en la distancia media la transferencia es mayor para una onda S. En la Figura 5, también podemos ver la gran energía que tiene las ondas superficiales (3), que disminuye a medida que nos alejamos de la boca del pozo.

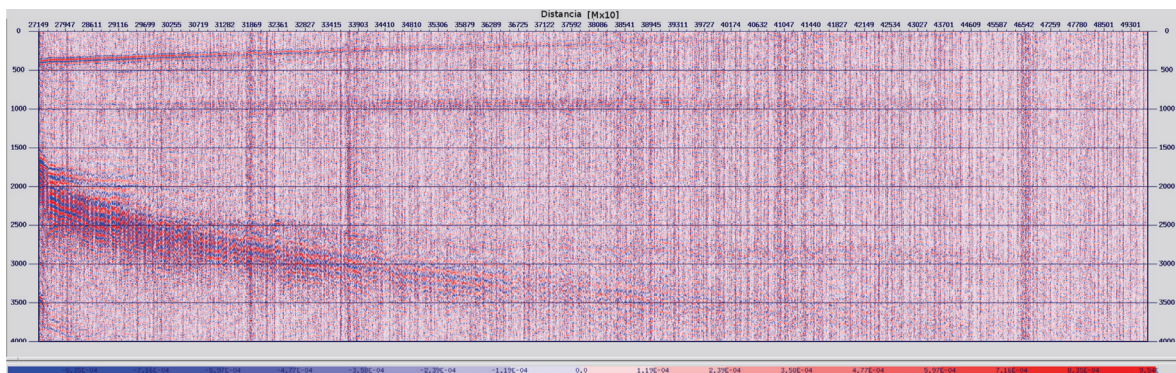


Figura 4. Registro de Punzado corregido con velocidad promedio constante de 2280 m/s y ordenado por *offset* ascendente desde el centro de la Boca de Pozo. El primer arribo a 400 ms (sobre corregido), arribo a 1000 ms horizontalizado y arribos desde 1500 ms subcorregidos (Ground-Roll). El segundo arribo presenta mayor energía a *offsets* medios.

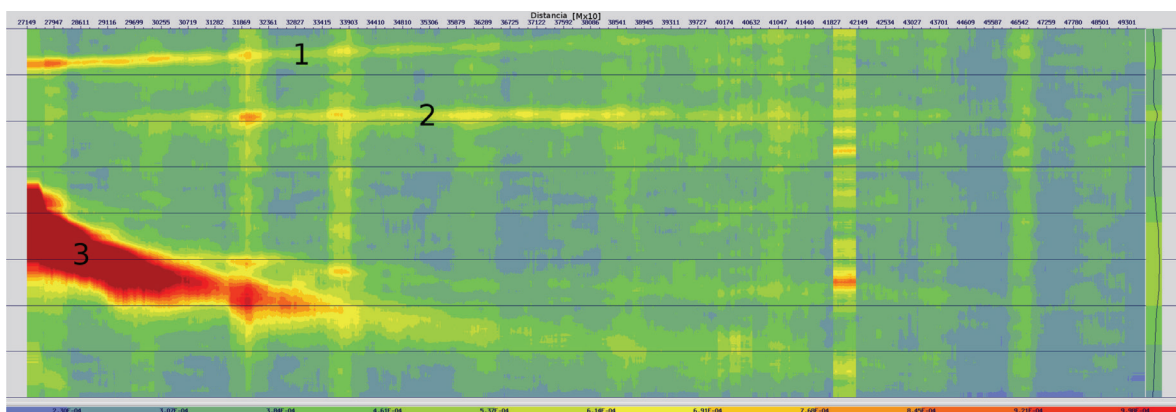


Figura 5. Energía del registro de la Figura 4, primer arribo (1) donde se resalta el aumento de amplitud para *offset* medios en el segundo arribo (2) y la fuerte amplitud de las ondas superficiales convertidas en la boca del pozo (3).

Anisotropía

Los registros del primer arribo muestran una marcada variación azimutal de velocidad media (Figura 3) que pudimos medir y modelar para horizontalizar por completo este primer arribo P (Figura 1). Esta variación en las velocidades, es el resultado del aporte de todas las capas del subsuelo, desde las capas más profundas donde se realizaron los punzados hasta las más someras, incluso la capa de *weathering*. Todavía más marcado es el efecto de anisotropía azimutal que se observa en el segundo arribo. Puede ser interpretado incluso como un cambio de polaridad, que no puede ser explicado forma directa. Estos cambios de velocidad se muestran en los puntos numerados desde 1 a 4 en la Figura 7. Esta mayor diferencia relativa de velocidades en función del azimut, podría ser explicada por un efecto de birrefringencia al dividirse una onda de corte en una componente rápida y otra componente lenta. Otra manera más grafica de relacionar el retraso (o cambio de polaridad) con el azimut está graficada en la Figura 8. Donde se puede ver que para el primer arribo, la amplitud es homogénea para dos cortes en tiempo (Figuras 8 A y 8 B) mientras que hay un evidente cambio de amplitud relacionado con el azimut para el segundo arribo (Figuras 8 C y 8 D).

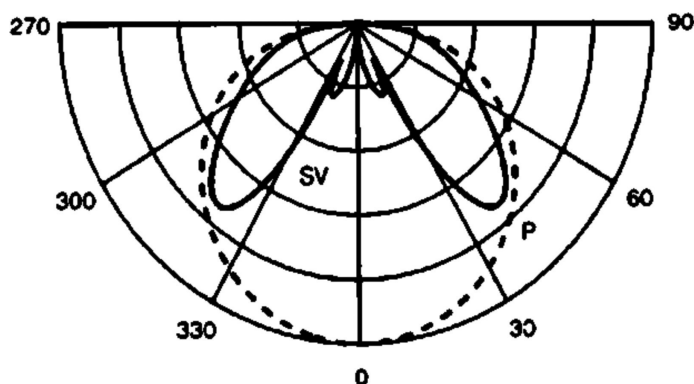


Figura 6. Respuesta para arribos P y SV de un Geófono vertical en función del ángulo de incidencia, para una interface solido-aire, calculada usando una relación $V_p/V_s = 2.3$ y una densidad de 1.6 g/cm^3 . Entre 30° y 60° grados el Geófono vertical tienen la mejor respuesta para ondas de SV.

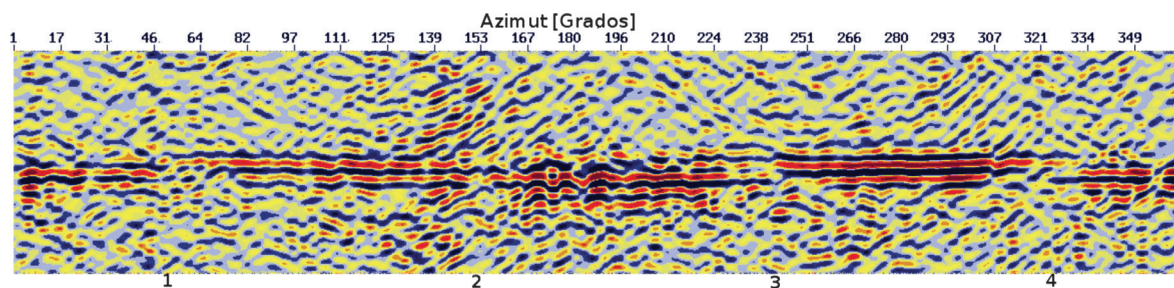


Figura 7. Cambios en la continuidad horizontal del segundo arribo. Filtrado y acondicionado para resaltar la discontinuidad los cuatro puntos numerados desde 1 a 4 en la imagen.

DISCUSIÓN

Según las particularidades enumeradas en los párrafos anteriores, el arribo que estamos describiendo podría tratarse de un arribo de ondas S. Pero el origen de este segundo arribo no está del todo justificado aún. Algunas de las fuentes de este arribo podrían ser: A) Longitud finita de la fuente de energía; las cargas explosivas del punzado se encuentran distribuidas verticalmente en forma helicoidal en una extensión aproximada de 1 metro. B) la fuente explosiva se encuentra en una tubería. C) una fuente impulsiva en un medio anisótropo D) conversión de la onda P a una onda S en la cercanía de la fuente. Cualquiera de estas hipótesis, inclusive más de una a la vez, avalaría la presencia de este tipo ondas (Fertig 1984, Seher *et al.* 2013). Y como vimos anteriormente, también es posible detectar arribos de ondas de corte con receptores verticales si es adecuado el ángulo de emergencia.

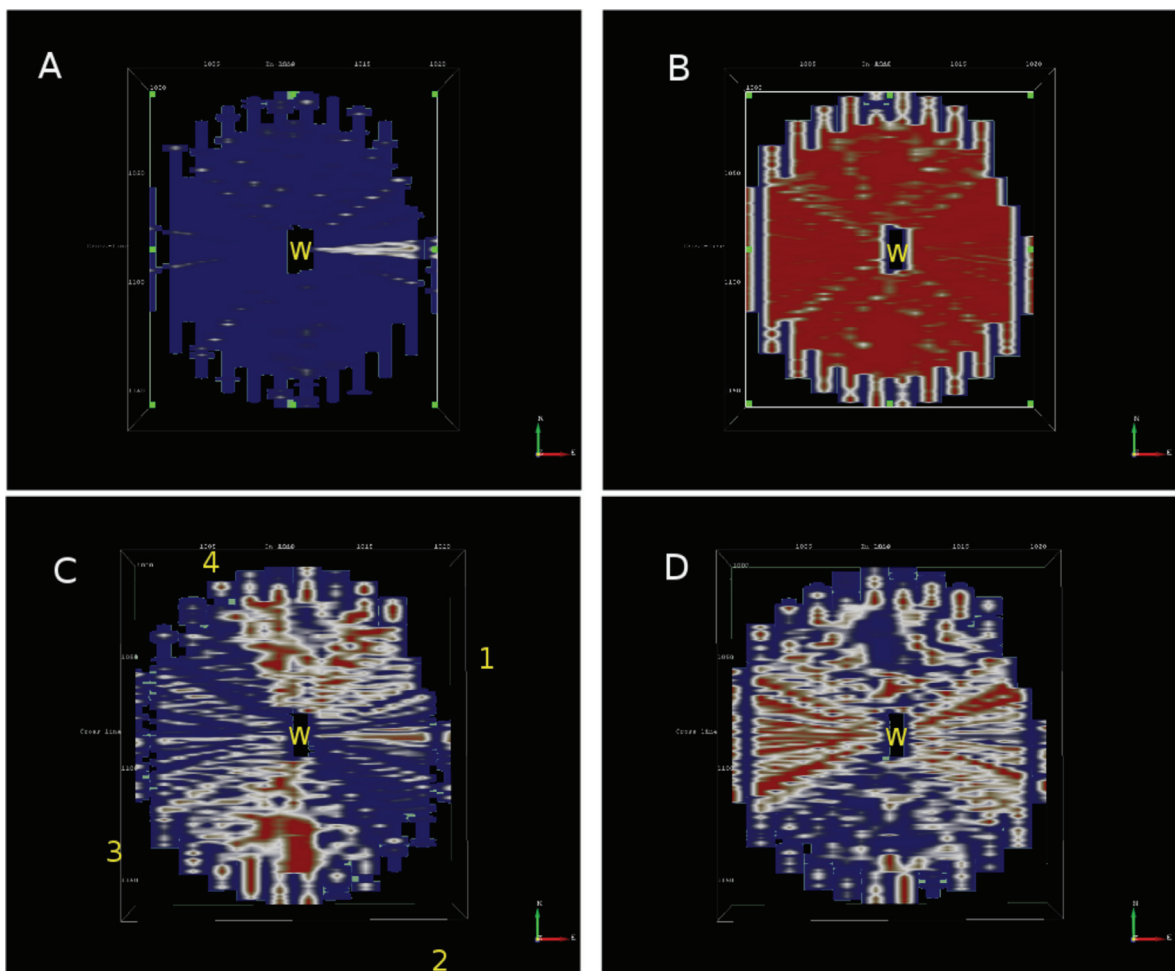


Figura 8. A y B cortes a dos tiempos constantes del primer arribo horizontalizado, vista en planta, mostrando una gran homogeneidad de la primera fase. C y D cortes a dos tiempos constantes luego de horizontalizar con la velocidad del segundo arribo. Se pueden ver los cambios en la polaridad de esta fase, marcados los puntos 1 a 4 correspondientes a la Figura 7. Posición de la boca de pozo marcada como W.

CONCLUSIONES

Uno de los aspectos a destacar, es la gran cantidad de energía que esta segunda fase desarrolla. Presenta ciertamente una mayor dificultad para ser procesada, pero si resulta que es un arribo S, la utilidad en la etapa de armado del modelo de velocidad V_s sería muy importante. Los eventos microsísmicos inducidos por la inyección hidráulica tiene su mayor energía en la componente de ondas de corte, si podemos registrar ese tipo de arribos, podremos conocer más de la naturaleza de la fuente.

Conocer de antemano el modelo de velocidades S, resulta de gran utilidad para una mejor detección de eventos y menos eventos falsos, mejorando la localización de un microsismo, mejor resolución del mecanismo focal y conocimiento del área de fractura. Podríamos así llegar a un mejor conocimiento de las propiedades geomecánicas del yacimiento en estudio.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a Total Austral y sus socios en el Área Aguada Pichana, en particular al Personal de Total Austral Argentina por permitir la publicación de este trabajo y a María Gabriela Goñi por su colaboración en el presente trabajo.

REFERENCIAS CITADAS

- | | |
|--|---|
| Ferting J., Shear, 1984, Waves by an explosive point-source: the earth surface as a Generator of converted p-s waves. <i>Geophysical Prospecting</i> 32, P.1-17, 1984. | White, J.E., 1965, Seismic waves radiation, transmission and attenuation: McGraw-Hill, Inc. |
| Seher T., Rondenay S. and Djikpesse H., 2014, Tube wave to shear wave conversion at borehole plugs. <i>Geophysical Prospecting</i> 62, 3, P. 540–551. | Witten B., Montgomery S and Artman B, 2012, Shear wave arrivals in surface microseismic data. <i>Spectraseis White Paper</i> . April 4. |