

CALIBRACIÓN SÍSMICA VSP Y ONDAS S A PARTIR DE VSP DE INCIDENCIA NORMAL REGISTRADO CON FUENTE DE ONDAS P. CUENCAS NEUQUINA, GOLFO SAN JORGE Y CUYANA, ARGENTINA

Teresa Santana¹, Eduardo Corti², Daniel Sánchez¹

1: YPF S.A., teresa.santana@ypf.com, daniel.sanchez@ypf.com

2: Contratista, eduardo_corti@hotmail.com

Palabras clave: VPS, Calibración sísmica, ondas S, fuente de ondas P

ABSTRACT

Calibration of seismic to geology in wells is crucial prior to perform structural and stratigraphic interpretation or seismic characterization for rock properties. Interpretation uncertainty will depend on the correlation obtained during the well calibration process. Borehole seismic contains information about the reflection and transmission properties of the Earth, and therefore is essential to link surface seismic to wells. Corridor stacks from VSP (Vertical Seismic Profiles) can be described as a multiple free, zero phase, normal incidence response at the well, and therefore can be correlated with seismic traces for a more accurate seismic to well calibration to estimate phase for interpretation. Approximately 700 VSPs acquired with P source were compiled and evaluated in the San Jorge, Neuquén and Cuyo basins to analyse their potential for S wave conversion for velocity Vs estimation, to estimate the attenuation Q factor, and eventually the occurrence of anisotropy HTI (Horizontal Transverse Isotropy). Around 100 VSP in Argentina were identified with high potential (>70%) to recover converted S waves for velocity Vs estimation and attenuation factors Q(p) and Q(s), important to be used to calibrate 3D elastic inversions and create the initial model for microseismic. This study demonstrates the presence of shear waves in zero-offset VSP acquired with P source for conventional and unconventional reservoirs in Argentina and propose a workflow to maximize the value of VSP by means of a more robust trace to trace calibration and shear velocities derivation in exploration and development projects.

INTRODUCCIÓN

La calibración entre datos sísmicos y pozos es esencial previo a la interpretación estructural y estratigráfica, y a la caracterización sísmica de reservorios siendo de vital importancia para el intérprete determinar la fase del dato sísmico (Roden *et al.* 1999). El Perfil Sísmico Vertical (VSP) es una técnica geofísica que mide directamente la respuesta sísmica del terreno a través de las formaciones atravesadas. La onda sísmica, afectada por las propiedades de las formaciones por las que se propaga, se mide directamente mediante geófonos o acelerómetros ubicados en el pozo en contacto con sus paredes. Por lo tanto, los VSP incluyen información de gran valor sobre las

propiedades del subsuelo, esenciales para vincular los pozos y la sísmica de superficie de manera robusta agregando un valor considerable a los proyectos de Exploración y Desarrollo.

Además, los *corridor stacks* obtenidos en los VSP pueden describirse como una respuesta de incidencia normal escasa de múltiples de fase cero, y por lo tanto su correlación con los datos sísmicos permite una calibración sísmica pozo más precisa para estimar la fase del dato, crítica para la interpretación sísmica.

Se ha documentado la presencia de ondas S en VSP de incidencia normal registrados con ondas P con cañones de aires (Yang *et al.* 2007) y con vibroseis (Zhao *et al.* 2005; Girolodi *et al.* 2002; Pontoriero 2017), originadas en capas inelásticas cercanas a la superficie, debido a que las formaciones geológicas (y la Tierra, en general) no son perfectamente elásticas ni isotrópicas (Liu 2014). En consecuencia, en los VSP adquiridos con ondas P con fuente cercana al pozo (Z-VSP) se generan ondas S cerca de la superficie (en la capa meteorizada, en general inelástica), y en algunos casos entre capas para ángulos de incidencia muy cercanos a la normal.

En el presente trabajo, se demuestra la presencia de ondas S en VSP adquiridos con fuente de onda P en las cuencas Neuquina, Golfo San Jorge y Cuyana de Argentina y se propone flujo de trabajo para maximizar el valor de VSP durante la interpretación sísmica a través de la calibración

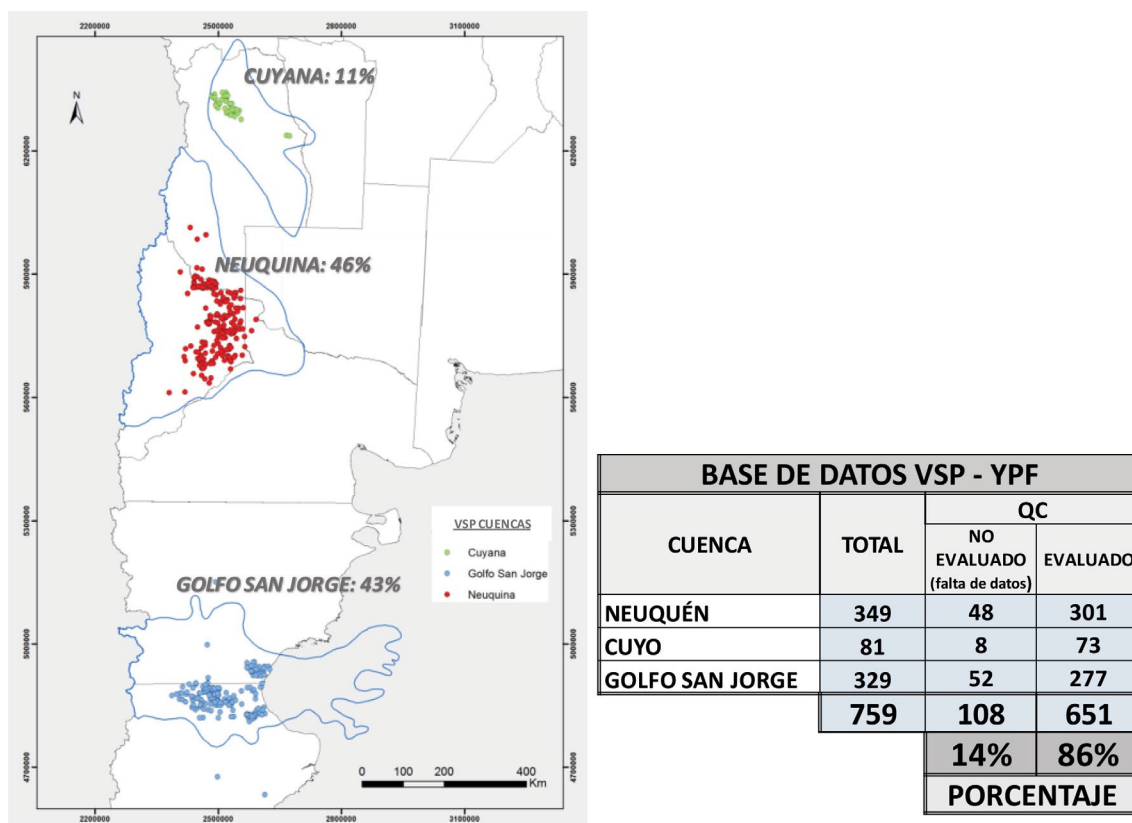


Figura 1. Base de datos de VSP evaluados. Izq.) Mapa de ubicación. Der.) Estadística del control de calidad realizado (el 14% no pudo ser evaluado por no contar con la información mínima requerida, como ser archivos en formato SEG Y, reportes de procesamiento, etc.)

sísmica con el VSP para reducir incertidumbres en la fase sísmica.

Se presentan ejemplos de reservorios convencionales y no convencionales para cada cuenca mencionada.

CONTROL DE CALIDAD DE VSP EN YPF

Se compilaron y analizaron alrededor de 700 pozos con sísmica de pozo en tres cuencas de Argentina: Neuquina, Golfo San Jorge y Cuyana (Fig. 1) para maximizar la información disponible en los VSP de YPF para su uso en proyectos geofísicos de Exploración y Desarrollo, tales como la interpretación sísmica a través de la calibración sísmica con el VSP, y demostrar la presencia de ondas S en VSP registrados con onda P, de gran utilidad para su uso durante la caracterización sísmica de reservorios y el diseño de microsísmica, entre otras aplicaciones.

Se catalogaron los VSP según su potencial de conversión de ondas S, y la derivación del factor de atenuación $Q(p)$ y $Q(s)$. El control de calidad de los VSP nos permitió poner en evidencia la presencia de ondas S, y en consecuencia la posibilidad de obtener propiedades como su velocidad V_s , el factor de atenuación $Q(p)$ y $Q(s)$, y la birrefringencia de las ondas S producida por anisotropía HTI (de eje de simetría horizontal).

Como resultado, más de 100 VSP (16% de los VSP evaluados) poseen alto potencial ($>70\%$) para derivar ondas S y factor de atenuación Q , de los cuales 59% se encuentran en la cuenca del Golfo San Jorge, 33% en la Neuquina y 8% en la Cuyana (Fig. 2).

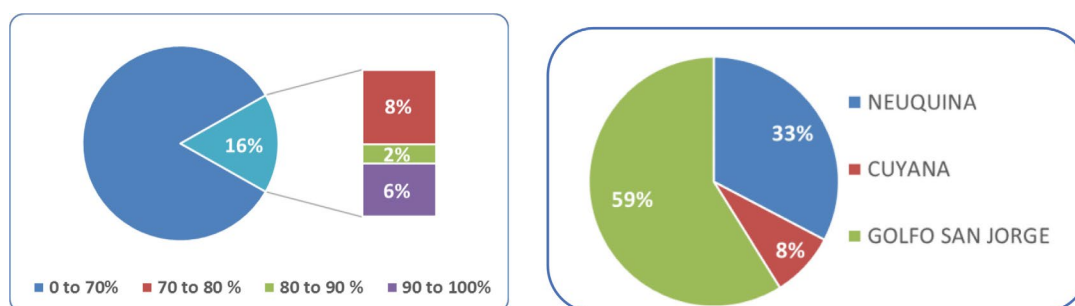


Figura 2. VSP con alto potencial para obtener ondas S y factor de atenuación Q para ondas P y S y su distribución por cuenca

CALIBRACIÓN SÍSMICA VSP

El uso principal de la sísmica de pozo consiste en proporcionar profundidades y velocidades para calibrar la interpretación sísmica (en tiempo) con las profundidades precisas observadas en pozos además de proporcionar imágenes de mejor resolución que pueden extenderse a cientos de metros de los pozos. Además, los corredor stacks, cuando se constituyen con los datos dentro de

una ventana de alrededor de 100 milisegundos después del primer arribo a cada geófono, pueden describirse como una respuesta de incidencia normal escasa de múltiples de fase cero (M. Jones y A. Martínez Pereira, 2010). En consecuencia, su correlación con los datos permite una calibración sísmica pozo más precisa para estimar la fase de la señal de superficie, crítica para la interpretación y la caracterización sísmica de reservorios.

Se propone un flujo de trabajo para el uso de los corridor stacks de los VSP durante la calibración sísmica pozo (Fig. 3).



Figura 3. Flujo de trabajo propuesto. Calibración sísmica VSP

El primer paso consiste en consolidar y validar la base de datos VSP mediante el control de calidad de su polaridad (R. White y R. Simm, 2003) y la inspección de las velocidades interválicas obtenidas a partir de pares tiempo-profundidad.

La correlación del VSP y el sismograma sintético proporciona un control de calidad adicional para posibles problemas con los registros de pozos, asumiendo que los corridorstacks de los VSP representan la respuesta de incidencia normal escasa de múltiples de fase cero en la ubicación del pozo (Figura 4A).

La fase obtenida durante la correlación sísmica VSP (Figura 4B), puede relacionarse directamente a la sísmica, en función de la postulación que los corridor stacks del VSP presentan fase cero. Se deben analizar varias consideraciones para estimar la rotación de fase, como su distribución areal y las complejidades de geología del subsuelo.

Finalmente, durante la correlación entre el sismograma sintético y la sísmica (Figura 4C), se incluyen los pozos tiempo-profundidad, registros sónicos y densidad de buena calidad que no poseen corridorstacks para efectuar el control de calidad del proceso.

Se recomienda aplicar la fase promedio resultante a la sísmica previo al inicio de los proyectos de interpretación sísmica. Por otra parte, el flujo de trabajo propuesto debe adaptarse a los proyectos de interpretación según sus objetivos y la geología del subsuelo en las cercanías de los VSP, teniendo en cuenta las variaciones geológicas esperadas de acuerdo al modelo geológico de la zona de estudio.

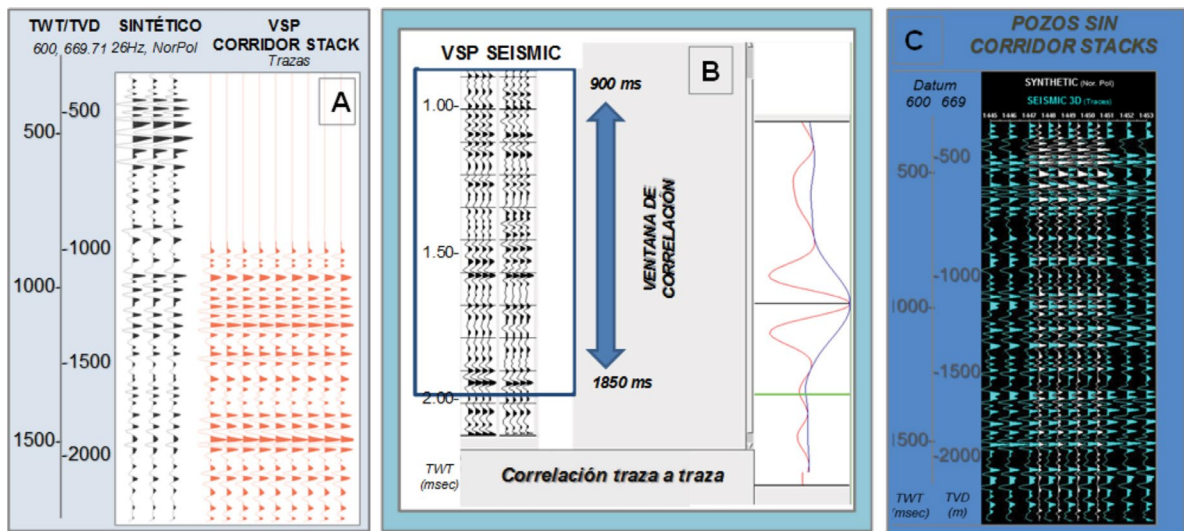


Figura 4. Flujo de trabajo propuesto para la calibración sísmica VSP. A. Calibración VSP y sintético. B. Calibración sísmica y VSP. C. Calibración sintético y sísmica en pozos sin corridorstacks VSP

ONDAS S EN VSP DE ONDAS P. EJEMPLOS POR CUENCA

Los VSP de incidencia normal incluyen ondas de corte originadas en las capas inelásticas cercanas a la superficie (Z. Xiaomin *et al.*, 2005, L. Yang *et al.*, 2007). Las componentes ascendentes, descendentes, compresionales y de corte que se pueden generar debido a la presencia de capas inelásticas (hasta la capa superficial no es elástica y muchas veces es anisotrópica), se distinguen por los desplazamientos o gradientes de tiempo con la profundidad observados en VSP.

De la totalidad de 700 VSP evaluados, se identificaron aproximadamente 100 VSP con alto potencial (>70%) para derivar ondas S (Zhao *et al.* 2005; Girolidi, L. *et al.* 2002) y factor de atenuación

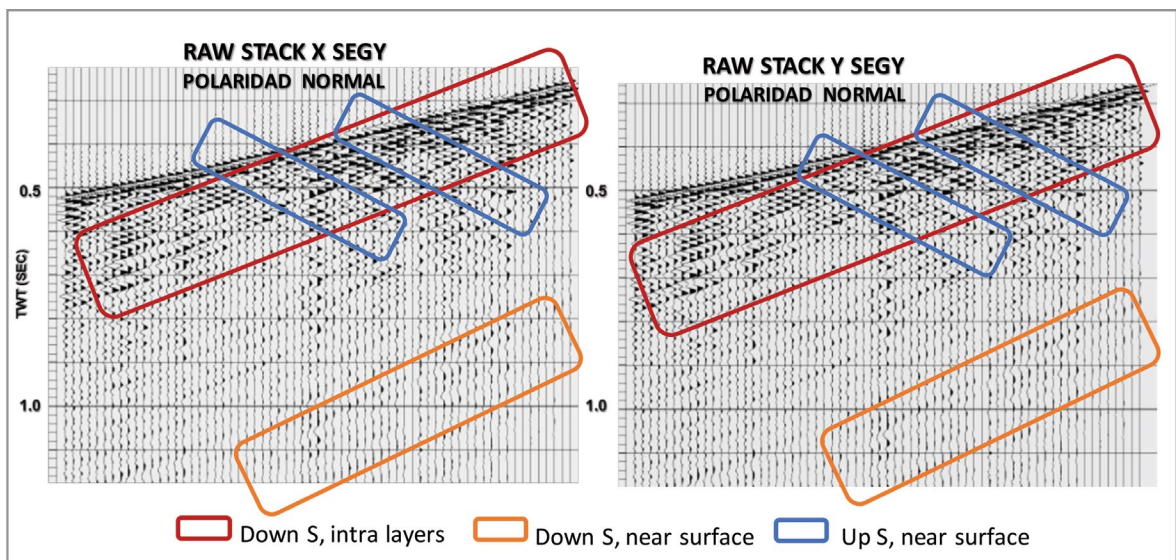


Figura 5. Presencia de ondas S en VSP adquirido con fuente onda P. Ejemplo para la cuenca del Golfo San Jorge.

Q en Argentina, de los cuales el 59% se encuentran en la cuenca del Golfo San Jorge, el 33% en la Neuquina y el 8% en la Cuyana. Se incluyen ejemplos de VSP registrados con ondas P en los que se observa conversión de ondas S para reservorios convencionales y no convencionales en las cuencas.

Las Figs. 5, 6 y 7 muestran pozos de ejemplo para las cuencas Golfo San Jorge, Neuquén y Cuyo respectivamente. Se observan las componentes ascendentes y descendentes de corte generadas por capas inelásticas, las cuales se distinguen de las compresionales por sus desplazamientos.

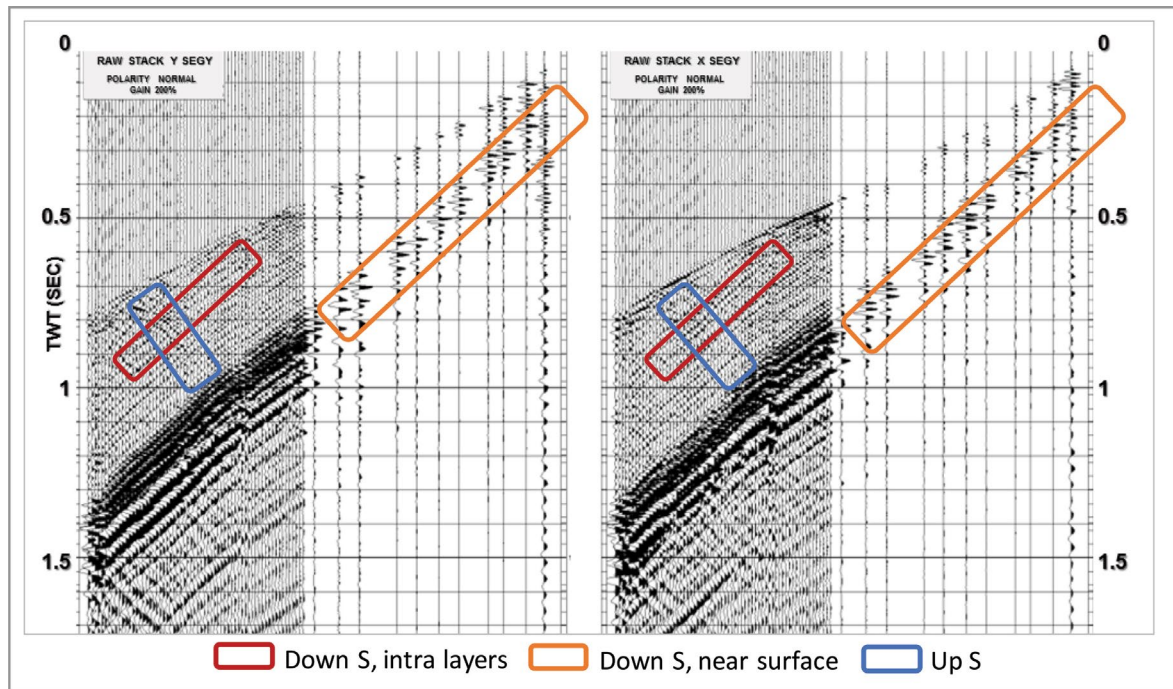


Figura 6. Presencia de ondas S en VSP adquirido con fuente onda P. Ejemplo para la cuenca Neuquina, objetivo Vaca Muerta (no convencional)

Al momento, se planifican tareas de reprocesamiento de los VSP identificados con alto potencial ($>70\%$) a los efectos de obtener la información de ondas S presente en los mismos para su uso en proyectos de caracterización sísmica y microsísmica, según las necesidades del negocio. La secuencia propuesta se basa en el procesamiento de las componentes horizontales del VSP para estimar la velocidad de la onda S, su factor de atenuación $Q(s)$, birrefringencia para calcular la anisotropía HTI (Horizontal Transverse Isotropy) y potencialmente la anisotropía VTI (Vertical Transverse Isotropy).

CONCLUSIONES

Los VSP poseen información de gran utilidad respecto a las propiedades del sector del subsuelo iluminado, esenciales para vincular los pozos y la sísmica de superficie de manera robusta

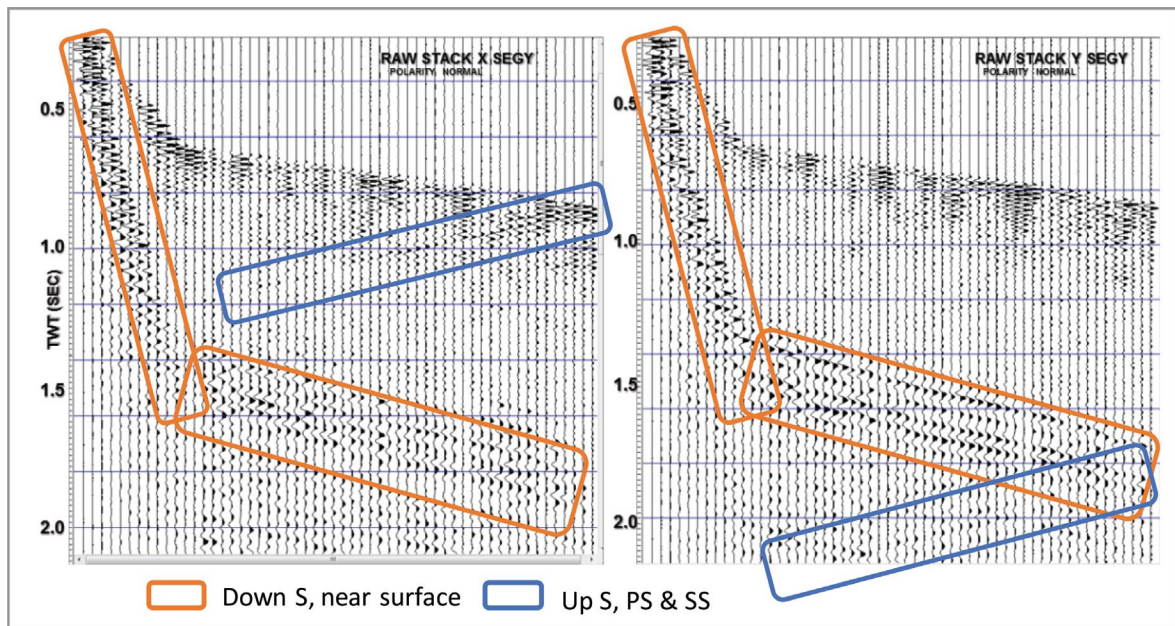


Figura 7. Presencia de ondas S en VSP adquirido con fuente onda P. Ejemplo para la cuenca Cuyana.

agregando valor (mediante la estimación de fase de dato, confirmación y correlación de eventos primarios o múltiples) a los proyectos de Exploración y Desarrollo.

La capacidad de estimar el factor $Q(p)$ y la presencia de ondas S de buena calidad en VSP adquiridos con ondas P con fuente cercana al pozo (Z-VSP) permite utilizar la información medida y evitar estimaciones teóricas durante el procesamiento de datos sísmicos, la caracterización sísmica de reservorios y el diseño de microsísmica, que en general varían de los resultados medidos en cada pozo. Por lo tanto, los VSP proveen de una medida de calibración valiosa para su uso durante proyectos de caracterización sísmica de reservorios (ejemplo inversiones elásticas), y la construcción del modelo inicial en proyectos de microsísmica.

Este estudio demuestra la presencia de ondas de corte en los VSP de incidencia normal registrados con ondas P en reservorios convencionales y no convencionales en Argentina.

Se recomienda el uso del VSP para reducir la incertidumbre de la fase del dato en la calibración sísmica pozo durante la interpretación y caracterización sísmica de reservorios; para estimar la atenuación de la onda y su uso en el procesamiento sísmico y el diseño de microsísmica; y para extraer ondas S proporcionando un modelo de velocidad V_s de baja frecuencia real de entrada para la caracterización sísmica de reservorios en procesos de inversión elástica, y un modelo V_p y V_s para levantamientos microsísmicos.

REFERENCIAS CITADAS

- Giroldi L., Oviedo E., Corti E., Moyano B., Gaiser J., Omana J., 2002, Well driven seismic: The role of the VSP on a 3C-3D seismic survey in Cerro Dragón (Golfo San Jorge Basin, Argentina). V Congreso Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Mar del Plata, Argentina.
- Jones M., Martínez Pereira A., 2010. Well tie, check-shot and zero-offset VSP. In Martínez Pereira A., and Jones M. (Eds.). Fundamentals of borehole seismic technology. Schlumberger, 73-106.
- Liu E., 2014. Seismic Fracture Characterization: Concepts and Practical Applications”, EAGE Education Tour 8, Buenos Aires, Argentina.
- Pontoriero A., 2017. Tesis de Grado “Determinación de velocidades P y S para el intervalo Quintuco Vaca Muerta a partir de un Perfil Sísmico con fuente cercana a la boca de pozo (Z-VSP)”, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata.
- Roden R., Sepúlveda H., 1999 The significance of phase to the interpreter: practical guidelines for phase analysis. The Leading Edge, 18, 774-777.
- White, R. and Simm R., 2003. Good practice in well ties. First Break, 21, 75-83.
- Yang L., Zhang Q., Leiying B. and Xiucheng W., 2007. Pure S-waves in land P-wave source VSP data. Applied Geophysics, 4, No. 3, 173-182.
- Zhao X., Zhou R., Yingping L., Janak P., Dushman D., 2005. Shear waves from near-offset VSP survey and applications. SEG International Exposition and 75th Annual Meeting, Expanded Abstracts, 2629-2632.