



Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

journal homepage: www.sgp.org.pe ISSN 0079-1091

Tomografía sísmica de primeros arribos empleada en el estudio geológico estructural de un área en el Subandino Peruano

Mario Profeta, Marcelo Roizman, Renzo Ariel Vargas Oviedo y Emilse Araceli Zunino.

RESUMEN

La tomografía sísmica de primeros arribos (TSPA) es una herramienta geofísica que permite generar un modelo de velocidades del subsuelo desde la misma superficie topográfica. Dicho modelo se lo denomina Modelo de Velocidades Tomográficas (MVT) y el mismo tiene unidades de distancia tanto en el sentido horizontal como en el vertical. Debido al algoritmo que se emplea en su cálculo, la TSPA es ideal para el estudio geológico de todo tipo de área, incluso para aquellas que presentan una abrupta topografía combinada con una geología fuertemente estructurada. Por otro lado, el MVT se lo puede integrar con: geología de superficie, información de pozos, imágenes sísmicas de reflexión 2D/3D y también con otros estudios geofísicos existentes en el área prospectiva. El MVT es un excelente complemento de cualquier sísmica de reflexión, especialmente para aquellos casos en los cuales la imagen 2D/3D resultante es de baja calidad y/o presenta faltante de información en su parte somera. En este trabajo, primeramente, se hará una breve introducción sobre la TSPA y luego se mostrará el MVT resultante de un estudio realizado por la compañía petrolera Pluspetrol a lo largo de una línea sísmica 2D ubicada en el Subandino Peruano. Por último, también se mostrará la interpretación y correlación de dicho modelo de velocidades con la imagen sísmica y con la geología de superficie.

Palabras claves: tomografía sísmica, primeros arribos, modelo de velocidades, Perú, Subandino.

INTRODUCCIÓN

Es común observar en la parte somera de la sísmi-

ca de reflexión 2D/3D que la imagen es pobre o carece de información. Esta zona se ubica antes de los primeros reflectores sísmicos interpretables. Para resolver este inconveniente de faltante y/o pobre información sísmica, se puede utilizar la información brindada por el modelo de velocidades resultante del método prospectivo geofísico denominado tomografía sísmica de primeros arribos (TSPA); por lo cual este modelo se lo denomina Modelo de Velocidades Tomográficas (MVT). De este modo los geocientistas disponen actualmente de una herramienta que les permite complementar la imagen sísmica del subsuelo en el área de estudio. Por otro lado, en aquellos proyectos en los cuales no sea recomendable técnicamente realizar un estudio sísmico de reflexión, podría de todos modos llevarse a cabo una adquisición sísmica para luego generar el correspondiente MVT, el cual posteriormente podrá ser interpretado e integrado a otros estudios geológicos y geofísicos existentes en el área. La secuencia de trabajo para generar el MVT se inicia con la lectura de los tiempos correspondientes a los primeros arribos de todos y cada uno de los registros sísmicos de campo (figura 1).

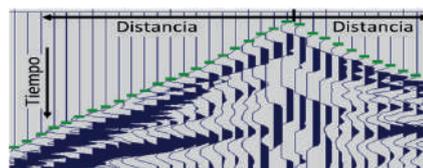


Figura 1: Porción superior de un registro sísmico de campo. Los segmentos de color verde indican los tiempos correspondientes de los primeros arribos de la perturbación sísmica a cada posición de recepción (una traza sísmica por posición de recepción).

Los tiempos leídos de los primeros arribos de todos los registros de campo se utilizan como dato de entrada para el proceso denominado Inversión Tomográfica, el cual después de una cierta cantidad de iteraciones sucesivas genera como producto final el MVT del área de estudio; modelo que brinda información de velocidades del subsuelo a partir de la misma superficie topográfica. En la figura 2 se muestra, a modo de ejemplo, el MVT correspondiente a un proyecto para prospección petrolera realizado en la Provincia de Mendoza en la República Argentina. En el mismo se observa que los ejes horizontal y vertical del MVT tienen unidades de distancia, por lo cual el MVT se puede integrar fácilmente con la información de pozos y/o de geología de superficie existente en el área de estudio.

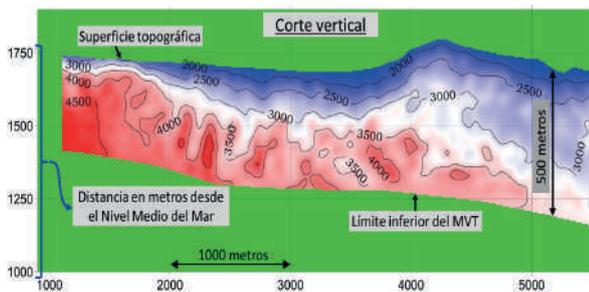


Figura 2: ejemplo de un Modelo de Velocidades Tomográficas (MVT). El MVT tiene unidades de distancia en sus dos ejes y brinda información de velocidades desde la superficie topográfica. Los valores de velocidades que se muestran dentro del modelo están expresados en metros por segundos y el intervalo entre curvas es de 500 m/seg. La interpretación de este MVT ha permitido identificar que la formación de alta velocidad de color rojo se aproxima significativamente a la superficie topográfica en el extremo izquierdo del modelo.

Para poder generar un MVT confiable se requiere que: (1) los primeros arribos tengan buena calidad, (2) la distancia máxima (u offset máximo) entre la fuente de energía y la traza más distante de los registros sísmicos de campo sea la adecuada para el tema que se desea estudiar y (3) un algoritmo de Inversión Tomográfica que trabaje únicamente con modelos de velocidades divididos en celdas, sin contener interfase alguna dentro del modelo. Para más información referente a estos tres puntos, recomendamos consultar el trabajo de Profeta et al, indicado en las referencias bibliográficas.

CASO DE APLICACIÓN EN EL SUBANDINO PERUANO

Los estudios sísmicos de reflexión en zonas del Subandino Peruano, que presentan sistemas compresivos complejos, pueden estar caracterizados por imágenes de regular calidad debido a la gran estructuración y la irregular topografía; y como resultado, la interpretación sísmica suele tener asociado un alto grado de incertidumbre. En este marco de trabajo, la información geológica de superficie representa un elemento fundamental para definir la ubicación en profundidad de las principales litologías de la zona (ver en las referencias bibliográficas los trabajos de Alemán et al, Robert et al y Shaw et al y el libro de Cristallini). Sin embargo, si el muestreo en superficie es escaso, es posible que la interpretación sísmica continúe presentando un rango de incertidumbre considerable. Dada las bondades ya descritas del MVT, la compañía petrolera Pluspetrol decidió generarlo para una de sus líneas ubicada en el Subandino Peruano, cuya imagen sísmica, en conjunto con los datos de superficie cercanos, no lograban definir un modelo estructural consistente. En la figura 3 se muestra el MVT resultante para esta línea sísmica, el cual evidencia variaciones de velocidad que permiten inferir cambios en el subsuelo. La profundidad alcanzada por el modelo es de aproximadamente 1000 m TVDSS o más de 2000 m desde la superficie topográfica. Dicha profundidad está definida por la penetración máxima conseguida durante el proceso de trazado de rayos en la Inversión Tomográfica. En la figura, la penetración máxima está representada por una línea de puntos en el fondo de la imagen; esta línea es el límite inferior del modelo.

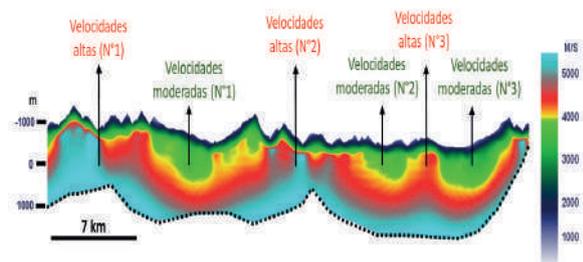


Figura 3: Modelo de Velocidades Tomográficas (MVT) para una línea sísmica ubicada en el Subandino Peruano. El MVT fue construido por Inversión Tomográfica a partir de los tiempos de los primeros arribos de todos los registros sísmicos de campo. Se observan tres núcleos de alta velocidad separados por tres núcleos de moderada velocidad. La línea de puntos en el fondo de la imagen representa la máxima profundidad alcanzada por el proceso de trazado de rayos en la Inversión Tomográfica.

En la etapa interpretativa del MVT, primeramente fue posible identificar seis zonas principales, de las cuales tres representan núcleos de alta velocidad y, los tres restantes, núcleos de velocidades moderadas.

Posteriormente, los núcleos descritos se asociaron a formaciones geológicas particulares permitiendo incorporar este dato al flujo de interpretación. Así, por ejemplo, velocidades altas cercanas a la superficie se interpretaron como zonas de posibles afloramientos, mientras que los núcleos de bajas velocidades se asociaron a zonas de menor deformación. La figura 4 muestra un análisis conjunto de: la información de geología de superficie, el MVT ya mostrado y la correspondiente sección sísmica en tiempo.

En el caso particular del MVT (imagen central), mediante un procesamiento especial se realzaron en el mismo las variaciones de velocidades (o niveles de velocidades) con el fin de identificar deflexiones y discontinuidades que pudiesen vincularse a las posiciones de las fallas mapeadas e interpretadas en sección.

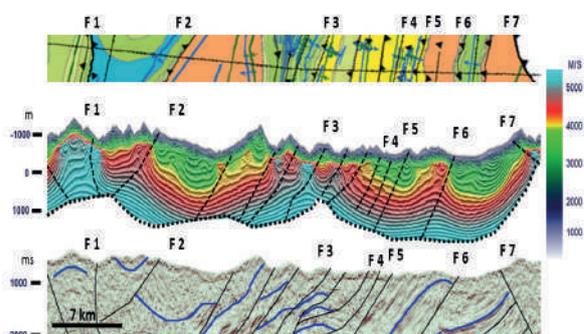


Figura 4: integración del mapa geológico (imagen superior), del MVT en profundidad (imagen central) y de la sección sísmica Pre-Stack Time Migration (imagen inferior). Se observa una buena correlación entre la disposición de los niveles de velocidades en el MVT y el horizonte en tiempo interpretado en la sección sísmica (en color azul) de acuerdo al modelo estructural considerado y los afloramientos observados en superficie.

Adicionalmente, el MVT muestra deflexiones, zonas de ruido y discontinuidades en posiciones cercanas a las fallas consideradas en la sección sísmica y en el mapa geológico.

La incorporación del MVT al flujo de trabajo permitió guiar la interpretación de los horizontes en las regiones donde la imagen sísmica tenía mala calidad, donde los eventos eran difícilmente identificables. Por otro lado, los reflectores fácilmente reconocibles en la sección mostraron una buena

correlación con los niveles de velocidades del MVT.

En la figura 4, el horizonte interpretado (en color azul) en la sección sísmica representa un nivel interno de las formaciones geológicas de alta velocidad. Se observa cómo la presencia de altas o bajas velocidades cerca de la superficie (en el MVT) influye en la posición del evento seguido. En otras palabras, la presencia de velocidades altas y bajas condiciona la ubicación en tiempo del evento interpretado.

Por último, se señalan una serie de fallas que tienen representación en los tres tipos de datos considerados. Estas fallas son claramente identificables en el MVT en la cual se realizaron los niveles de velocidades (imagen central de la figura 4). Se observaron tres patrones de representación para las fallas.

El primero, y más común, donde se logra inferir la posición de las fallas a partir de deflexiones de los niveles de velocidad (F2, F6 y F7). El segundo, donde se puede identificar zonas de “ruido” en las que no se arman figuras (F1 y F3) y, por último, la observación de discontinuidades propiamente dichas (F4 y F5). Este último caso adquiere principal importancia porque son fallas de difícil reconocimiento en la sección sísmica.

CONCLUSIONES

El Modelo de Velocidades Tomográficas (MVT) correspondiente a un área del Subandino se pudo correlacionar satisfactoriamente con el mapeo geológico de superficie y la imagen sísmica 2D de reflexión. El MVT cumplió un papel fundamental en el seguimiento de horizontes y en la interpretación de fallas. Adicionalmente, se confirmó un buen amarre entre los afloramientos observados y el rango de velocidades asociado en el subsuelo.

En resumen, la tomografía sísmica de primeros arribos y su correspondiente MVT fueron una herramienta innovadora que permitió complementar el faltante de imagen existente en la región somera de la sección sísmica 2D, en una zona topográfica y estructuralmente muy compleja.

Gracias a los buenos resultados obtenidos con la metodología descrita, Pluspetrol utiliza esta técnica como un estándar en sus proyectos, siempre que la calidad de los datos sísmicos (2D o 3D) lo permita y el objetivo de estudio lo requiera.

CONTRIBUCIONES TÉCNICAS

La tomografía sísmica de primeros arribos realizada en el Subandino Peruano permitió entre otras cosas:

1. Inferir cambios geológicos a partir de los cambios en el Modelo de Velocidades Tomográficas (MVT).
2. Definir posiciones de discontinuidades estructurales.
3. Complementar la información somera de la imagen sísmica 2D existente en el área.
4. Guiar la interpretación y seguimiento de horizontes en zonas de mala calidad de la imagen sísmica por presencia de ruido o alta estructuración.
5. Correlacionar los afloramientos de superficie con zonas someras de velocidades altas y/o bajas en el MVT.
6. Reducir la incertidumbre de la interpretación sísmica, la cual posteriormente es usada como dato de entrada para la construcción de modelos estructurales en profundidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alemán A.M., Valasek D., Ardiles C., Wood G.D., Wahlman G.P., Groves G.R., publicación: “Petroleum systems and tectono-stratigraphic evolution of the Madre de Dios Basin and its associated thrustbelt in Peru and Bolivia”, presentada en el Octavo Simposio Bolivariano: Exploración petrolera en cuencas subandinas. pp. 177-200, año 2003, realizado en Cartagena de Indias, Colombia.

Cristallini E., libro: “Introducción a las Fajas Plegadas y Corridas”, año 1998.

Profeta M., Roizman M., Trincherro E. y Vernengo L., publicación: “La Tomografía Sísmica como herramienta de Interpretación”, presentada en el Décimo Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, año 2018, realizado en la ciudad de Mendoza, Argentina.

Robert W. H. Butler, Clare E. Bond, Hannah M. Watkins and Mark A. Cooper, publicación: “Interpreting structural geometry in fold-thrust belts: Why style matters” presentada en Fold and Thrust Belts: Structural style, evolution and exploration, año 2017, realizado en Londres, Inglaterra.

Shaw J.H., Connors C., Suppe J., publicación: “Seismic Interpretation of Contractional Fault-Related Folds”, presentada en el AAGP Seismic Atlas Studies in Geology N°53 por The American Association of Petroleum Geologists, año 2004, Tulsa, USA.