



## Comparación de técnicas de conversión sísmica tiempo a profundidad por los métodos vertical stretch y rayo-imagen frente a la migración PSDM en zonas geológicas estructuralmente complejas

Rubén Mauricio Vargas Pabón

Geólogo. Estudiante de Maestría en Geofísica.

Cra 18W #61<sup>a</sup>-22 Bucaramanga. Santander-Colombia. Universidad Industrial de Santander (UIS) & ECOPEPETROL S.A.

[Mauriciogeo2010@gmail.com](mailto:Mauriciogeo2010@gmail.com)

### RESUMEN

En el siguiente trabajo se comparan 3 técnicas de conversión sísmica tiempo a profundidad (vertical stretch, rayo imagen y PSDM (migración en profundidad pre-apilado de Kirchhoff), las cuales son utilizadas actualmente en software libres y licenciados. Se realizó con fin de dar a conocer cuáles de ellas dan mayor confiabilidad, se desarrollan en el menor tiempo, tienen menor costo computacional y necesitan de poco personal calificado, lo que ocasiona un ahorro en proyectos de exploración de hidrocarburos. Se toman dos de ellas (vertical stretch, rayo-imagen) frente a la herramienta PSDM pues esta última es una de la técnica más desarrollada en la industria petrolera. Se eligió un set de datos reales (sísmica 2D de una cuenca sedimentaria en Colombia) con contrastes de velocidades fuertes, influenciada por familias de fallas inversas y normales, en donde se inició con el procesamiento en tiempo PSTM (migración pre-apilado en tiempo) de la línea 2D generando un modelo de velocidad el cual se utilizó para realizar la conversión a profundidad de las 3 técnicas. La confiabilidad de la imagen se midió por medio de 2 pozos exploratorios con topes stratigráficos los cuales están ubicados en las imágenes generadas. Entre los resultados obtenidos se concluye que la técnica vertical Stretch es útil y rápida en zona con estructuras geológicas simples y con velocidad simple es decir que las velocidades aumenten con la profundidad por lo cual se puede utilizar en zonas con estratigrafía normal no fallada dan-

do una confiabilidad buena. La migración en profundidad PSDM muestra una imagen confiable en sitios deformados por estructuras complejas, su desarrollo se da en tiempos largos, su costo es elevado ya que el tiempo de procesamiento es extenso en comparación con las otras dos herramientas. Rayo imagen desarrollada en software libre muestra una imagen confiable, su desarrollo es rápido en sitios geológicos complejos, el resultado es bueno por lo cual se puede utilizar al momento de ahorro de costos y de rapidez en resultados.

**PALABRAS CLAVE:** Psdm, Pstm, estiramiento vertical, rayo imagen.

### INTRODUCCIÓN

El estudio de los fenómenos relacionados con la estructura, composición e historia evolutiva de la Tierra aplicando los principios de la física nos lleva a la geofísica (Kearey, Brooks, & Hill, 2013). La exploración sísmica es un método geofísico que nos ayuda a determinar profundidades, formas de las rocas en el subsuelo, al igual que la distribución y disposición espacial de unidades litológicas las cuales componen las formaciones geológicas. Utilizando geófonos aparatos diseñados para detectar ondas acústicas producidas por fuentes naturales (sismos) o artificiales (sismigel, vibros, martillos, pistolas de aire, etc.). Estas ondas se propagan por las rocas a diversas velocidades dependiendo de la elasticidad y composición del material en donde se reflejan y refractan siendo detectadas en superficie.

La sísmica de reflexión se centra principalmente en encontrar las profundidades de las superficies reflectantes y las velocidades sísmicas de las capas de roca (Lowrie, 2007).

Luego de realizar una campaña de adquisición, los datos son entregados para su procesamiento con la finalidad de obtener una imagen del subsuelo, centrándose en una visualización en profundidad, pues a partir de esta se tomarán las decisiones para evaluar si continua o no la campaña exploratoria. Las diversas técnicas de conversión a profundidad son herramientas utilizadas para generar efectividad, calidad y rapidez en el procesado de datos. Las herramientas generadas son PSDM (Sun, Qin, Checkles, & Leveille, 2000), estiramiento vertical (vertical stretch) y el método de rayo imagen (image-ray).

Se muestra una mayor continuidad en los horizontes en la parte central de la línea PSDM (Figura 2) en comparación con las otras dos técnicas, el tope del basamento de los pozos de color verde encaja con la sísmica pues muestra finalización de las capas estratificadas. La herramienta es robusta y requiere de alto costo computacional, el tiempo para desarrollarla es largo.

## METODOLOGÍA

La metodología se inicia con la carga de datos sísmicos reales, desarrollando el procesamiento PSTM y obteniendo un modelo de velocidad en tiempo, con el cual se realizan las conversiones a profundidad. En vertical stretch se le asigna una velocidad de intervalo constante a cada unidad litológica por separado de la línea sísmica en tiempo, pero diferente de una estructura a la otra, expresando esta velocidad como una función de enterramiento.

En PSDM el modelo de velocidad se refina con iteraciones, el principio matemático utilizado es dado por un sistema que emite y un sistema que recibe en la superficie, se realiza la medición del tiempo que se tarda el frente de onda en hacer la trayectoria desde la emisión (fuente sísmica), reflector (capas de roca) y receptor (geófonos); el primer paso para la migración en profundidad es elegir un modelo de velocidad de intervalo. Tanto la migración en tiempo PSTM como en profundidad PSDM utilizan un sistema de difracción para colapsar energía a lo largo de una hipérbola de difracción hasta su vértice. En rayo imagen los rayos son trayectorias rectas dentro de cada capa, la trayectoria de ellos comienza perpendicular a la topografía lo que permite tener claridad del punto inicial, el rayo va en la dirección del vector llamado lentitud, que es la lentitud aparente del frente de onda en la dirección horizontal por lo que es sensible a cambios laterales de velocidad (Gjoystdal, et al., 2002).

Al obtener las 3 imágenes en profundidad la medida para conocer la confiabilidad en cada una de ellas es dada en la ubicación de 2 pozos perforados en la zona, los cuales tienen topes de formaciones geológicas que deben cazar con la sísmica presente en las 3 herramientas.

## RESULTADOS

La imagen en tiempo PSTM (Figura 1) arroja un sistema geológico complejo en la parte central de la línea sísmica en donde es difícil la interpretación. La imagen PSTM en la parte derecha CDP 927 al 1377 muestra dificultad para conocer los eventos geológicos presentes pues los horizontes pierden continuidad debido al sistema de fallas inversas y normales.

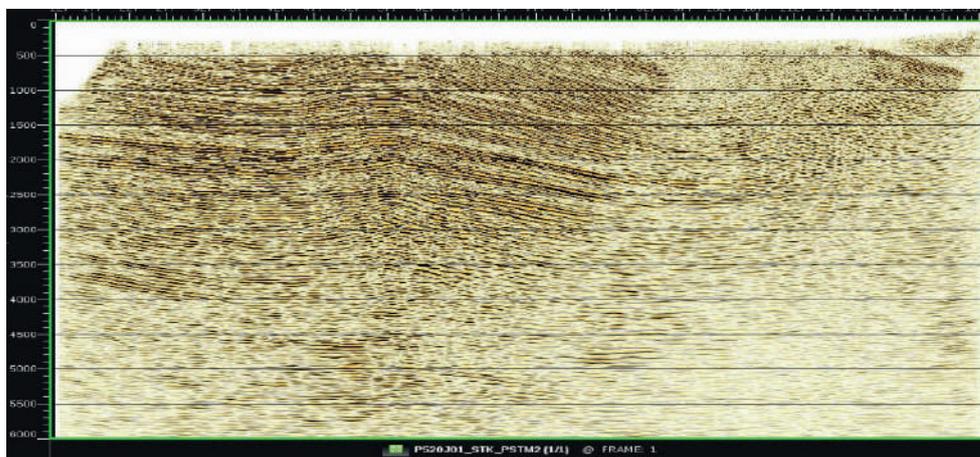


Figura 1. Imagen PSTM eje x CDP, eje Y tiempo en milisegundos.

## CONVERSIÓN PROFUNDIDAD

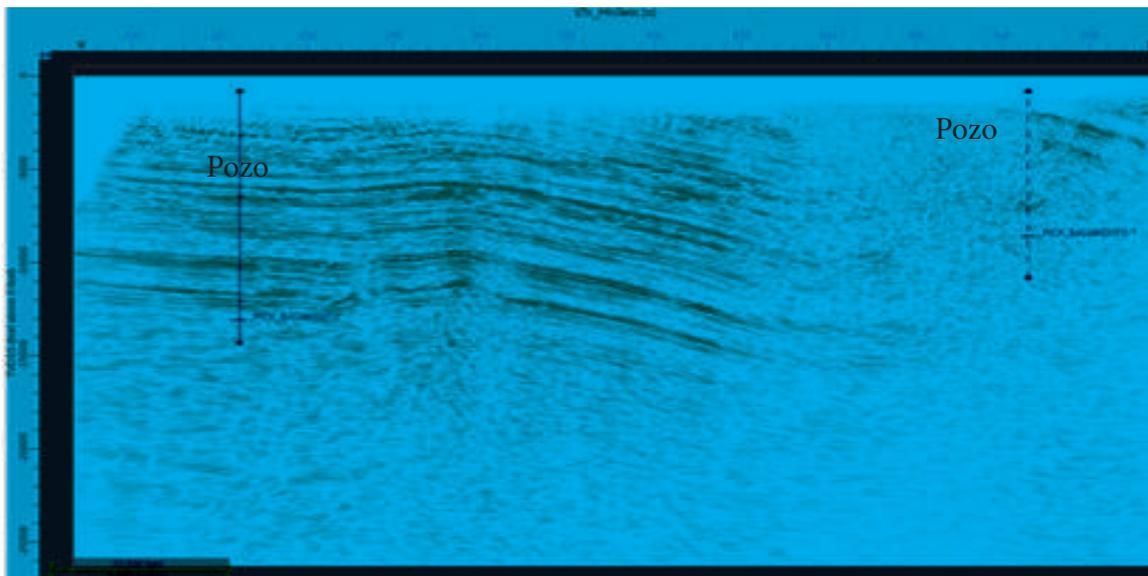


Figura 2. Imagen PSDM.

Se muestra una mayor continuidad en los horizontes en la parte central de la línea PSDM (Figura 2) en comparación con las otras dos técnicas, el tope del basamento de los pozos de color verde

encaja con la sísmica pues muestra finalización de las capas estratificadas. La herramienta es robusta y requiere de alto costo computacional, el tiempo para desarrollarla es largo.

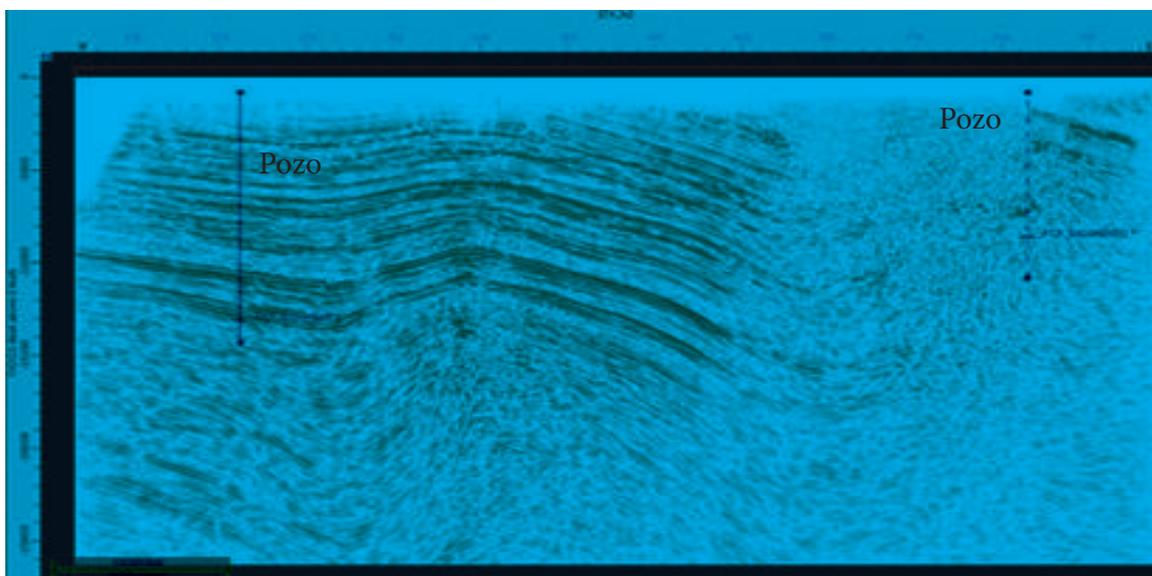


Figura 3. Vertical Stretch

La técnica vertical stretch (Figura 3) en zonas con velocidades normales que aumentan con la profundidad da un resultado confiable y rápido. Debajo del basamento del pozo de la izquierda se muestran capas y horizontes que no están con la realidad geológica pues en esta profundidad se encuentran rocas duras y no estratificadas toman-

do la litología del pozo como referencia, por lo tanto genera problemas para una interpretación, esto debido a que la herramienta moldea la imagen tomando solo el modelo de velocidad y asignándoles velocidad promedio a cada bloque por separado y no toma en cuenta cambios laterales de velocidad.

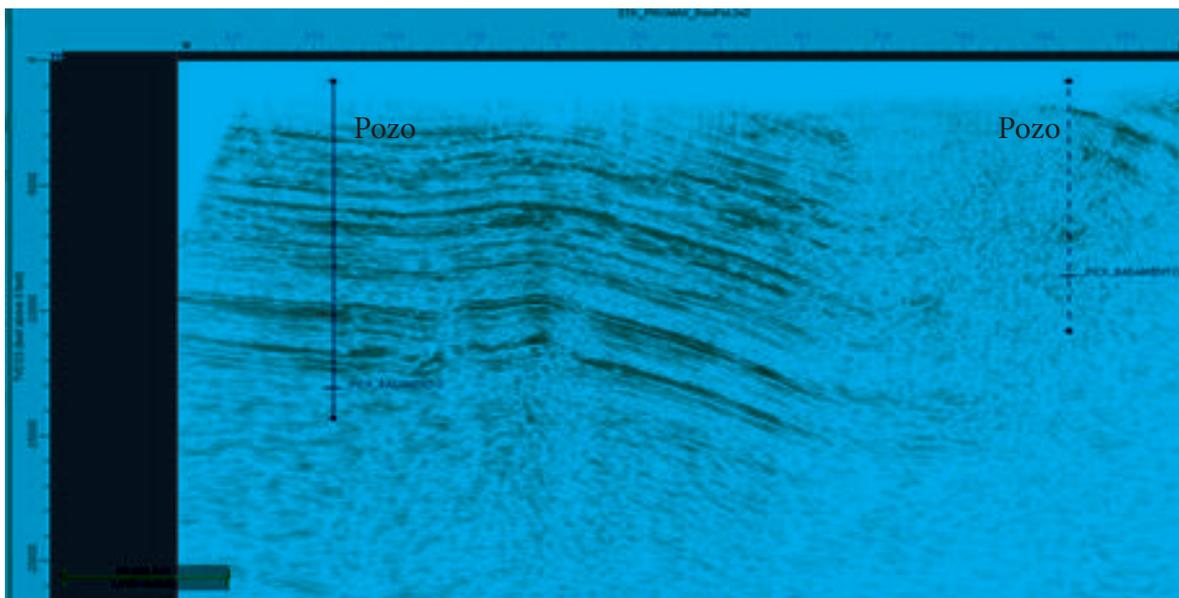


Figura 4. Rayo imagen

El desarrollo de la técnica de Rayo imagen (Figura 4) es rápido, se utilizó software libre generando bajo costo computacional, el tope de basamento en los dos pozos encaja con la sísmica pues debajo de este no se muestran unidades estratificadas, en velocidades complejas genera una respuesta positiva para la confiabilidad de la imagen.

### CONCLUSIONES

- Vertical stretch es una técnica confiable y rápida en zonas donde las velocidades no tienen cambios laterales, es decir donde la geología estructural no es compleja.
- Rayo imagen al desarrollarla en software libre ayuda en el ahorro de costos en comparación con las otras dos técnicas, su desarrollo es lento respecto a vertical stretch pero rápido frente a PSDM, los rayos al ser trayectorias rectas y ortogonales a los frentes de onda son sensibles a cambios laterales en la velocidad por lo que en zonas complejas generan confiabilidad.
- PSDM requiere de un modelo de velocidad definido y refinado por medio de iteraciones, la imagen genera un resultado confiable en zonas con velocidades anisotrópicas. Se necesita personal muy calificado. Esta técnica calcula las difracciones mediante trazados de rayos utilizando la velocidad de intervalo y suma la energía a lo largo de las difracciones poniendo el resultado en una posición en superficie que corresponde al punto difractor es decir genera migración.

### BIBLIOGRAFÍA

- Gjoystdal, H., Iversen, E., Laurain, R., Lecomte, I., Vinje, V., & Astebol, K. (2002). Review of Ray Theory Applications in Modelling and Imaging of Seismic Data. *StudiaGeo*. 113-164.
- Kearey, P., Brooks, M., & Hill, I. (2013). An introduction to geophysical exploration. John Wiley & Sons. 272.
- Lowrie, W. (2007). *Fundamentals of Geophysics*. Cambridge. 13-14.
- Sun, Y., Qin, F., Checkles, S., & Leveille, J. (2000). 3-D prestack Kirchhoff beam migration for depth imaging. *GEOPHYSICS*, 1592-1603.