

Modelo de velocidades de intervalo en profundidad a partir de función de difracción: aplicación a datos reales

CARLOS AUGUSTO ORTEGA GALVIS

LUIS ALFREDO MONTES VIDES

Grupo de investigación en Geofísica, Universidad Nacional de Colombia, e-mail: lamontesv@unal.edu.co

RESUMEN

Se implantó un algoritmo de solución al problema inverso para estimar las velocidades de intervalo y construir modelos en profundidad. El método basado en la teoría del rayo paraxial de la sismica óptica se aplicó a registros del programa Majayura – 72, suministrando un modelo inicial para la migración pre-apilada en profundidad. Las posiciones fuente, receptor y tiempos de viaje de los eventos reflectores necesarios para estimar la función tiempos de tránsito son tomados en configuraciones *cmp* y *zero offset*. Usando la función tiempos de tránsito de reflexión se calcula la función tiempos de difracción, y a partir de ella se trazan rayos difractados en profundidad que al enfocar permiten conocer la velocidad de intervalo.

PALARAS CLAVE: MIGRACIÓN, INVERSIÓN SÍSMICA, VELOCIDAD DE INTERVALO

ABSTRACT

An algorithm to solve the inverse problem was implemented, estimating the interval velocity and building seismic models in depth. Based in the paraxial ray theory of seismic optics, the method was applied to seismic data of Majayura project, providing a former model for pre stack depth migration. Traveltimes of reflectors, source and receiver position, used to estimate the travetiem function, were obtained from *cmp* gathers and zero offset sections. The diffraction function is estimated from the traveltim function allowing to calculate the interval velocity through focusing of traced rays.

KEYWORDS: MIGRATION, SEISMIC INVERSION, INTERVAL VELOCITY

INTRODUCCIÓN

Durante el procesamiento se utilizan diferentes tipos de velocidades con el propósito de obtener una imagen del subsuelo; en cada de sus etapas se requiere asignar un campo de velocidad que funcione, independiente de las características del medio. Caso muy distinto son los procesos de migración en profundidad, en donde se necesita el valor de velocidad con que la señal viaja a través de las sucesiones rocosas, es decir la velocidad de intervalo. Al intérprete le interesa la velocidad de intervalo en profundidad a fin de realizar la migración en profundidad. Si el objetivo final es colocar los eventos buzantes en su verdadera posición y colapsar las difracciones, es obvio que en áreas de gran complejidad estructural debe existir diferencias entre un apilado final y una migración en profundidad.

Luego de la aparición del concepto de migración, y de sus efectos en el mejoramiento de la imagen de subsuelo, es aún más

clara la necesidad de desarrollar e implementar métodos y técnicas que ofrezcan mayor seguridad y confiabilidad en modelamiento final. La velocidad de la señal sísmica no es otra cosa que “una propiedad física del medio” (Hubral and Krey, 1980).

Calcular la velocidad de intervalo a partir de los tiempos de tránsito es resolver el problema inverso a partir de las características cinemáticas del medio. La óptica geométrica brinda una solución a la ecuación de onda al propagarse en un medio homogéneo-isotrópico, cuando el pulso que se propaga tiene longitud de onda pequeña comparada con las dimensiones estructurales del modelo y cuando los cambios espaciales de los parámetros de Lamé y la densidad son pequeños sobre la distancia de una longitud de onda. La estimación de un modelo de velocidad de intervalo en profundidad requiere información obtenida fundamentalmente de registros sísmicos de pozo, la cual no siempre se encuentra disponible para los procesos de obtención de imágenes del subsuelo en profundidad. Dicho modelo puede estimarse a partir de un procedimiento cuidadoso de cálculo de la función

Manuscrito recibido para evaluación el 15 de junio de 2003.

Artículo aceptado para publicación por el Comité Editorial el 30 de octubre de 2003.

tiempos de tránsito y la posterior inversión de rayos en profundidad (Montes, 1999).

FUNDAMENTO TEÓRICO

Teniendo en cuenta las ideas de Hamilton sobre rayos de luz, Bortfeld (1989), asumiendo un modelo de capas homogéneas e isotrópicas, separadas por interfases suaves, con velocidades y densidades arbitrarias, determinó la función de los tiempos de tránsito en la vecindad del rayo central:

$$t\left(\bar{X}_g, \bar{X}_s\right) = T_0 - 2\bar{p}_0 \frac{\bar{x}_g + \bar{x}_s}{2} + \frac{\bar{x}_g + \bar{x}_s}{2} D_0^{-1} C_0 \frac{\bar{x}_g + \bar{x}_s}{2} + \frac{\bar{x}_g + \bar{x}_s}{2} B_0^{-1} A_0 \frac{\bar{x}_g + \bar{x}_s}{2} \tag{1}$$

donde

$\bar{x}_s = (x_s, y_s)$ posición de la fuente

$\bar{x}_r = (x_r, y_r)$ posición del receptor

T_0 = tiempo de tránsito de reflexión del rayo central (rayo normal)

$B_0^{-1} A_0$ = Matriz de curvatura de la onda cmp

$D_0^{-1} C_0$ = Matriz de curvatura de la onda normal

La ecuación (1) por simetría “tiene nueve incógnitas: una en T_0 ,

dos en \bar{p}_0 , tres en $B_0^{-1} A_0$ y tres en $D_0^{-1} C_0$, las cuales pueden estimarse registrando al menos nueve tiempos de tránsito, especialmente seleccionados; para ello se toman los datos al menos en dos configuraciones de la sísmica, en este caso *Common mid point* y *zero offset* (Montes, 2000).

La curva de tiempos de difracción depende de la velocidad de intervalo, y la suma de las amplitudes a lo largo de ella permite el proceso de colapso de las difracciones a su ápice durante la migración, razón de su importancia en los procesos de obtención de imágenes del subsuelo. En la vecindad del rayo central está determinada a partir de la función de tiempos de tránsito (Montes, 2000), por la ecuación (1).

$$t_D\left(\bar{x}, \bar{0}\right) = T_0 - 2\bar{p}_0 * \bar{x} + \bar{x} * B_0^{-1} A_0 \bar{x} \tag{2}$$

donde \bar{x} es la posición del detector.

La función tiempos de difracción (2), permite conocer el tiempo que tarda la onda desde un punto difractor en subsuelo hasta un punto en la superficie.

Con el valor de velocidad de intervalo calculado para el primer medio y de la geometría del primer reflector, así como de los ángulos de buzamientos de los rayos difractados, se calcula el valor de velocidad del medio siguiente que los hacen converger en un punto. Mediante un procedimiento iterativo se realiza la

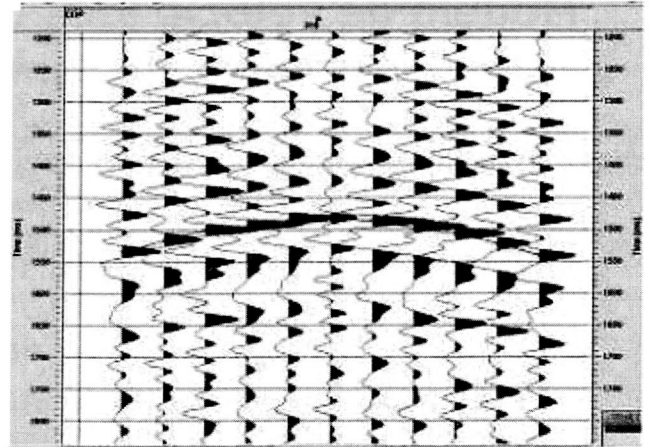


Figura 1. Registro CMP gather. En este registro correspondiente al CDP 319 se ilustra el reflector correspondiente a la discordancia al tope del Cretácico superior. En cada una de las trazas se toman los datos de posición y tiempos de viaje en el máximo valor de amplitud.

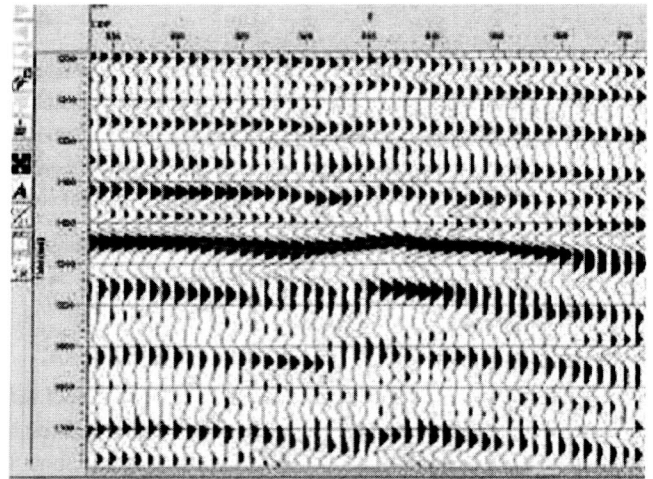


Figura 2. Registro Zero Offset. En este registro se muestra el picado de tiempos típico elosel CDPs 328-312.

continuación hacia debajo de la función tiempo de difracción para cada horizonte de interés, obteniendo un modelo de velocidad en profundidad.

APLICACIÓN A DATOS REALES

La toma de datos y cálculo de velocidades se hizo sobre familias de trazas CMP y la sección zero offset. Estos registros deben llevarse al mismo *datum* para facilitar la identificación del reflector de interés. Se definió un nuevo sistema de coordenadas con origen en el comienzo de la línea y se hizo coincidir ésta con el eje, aplicando los siguientes pasos.

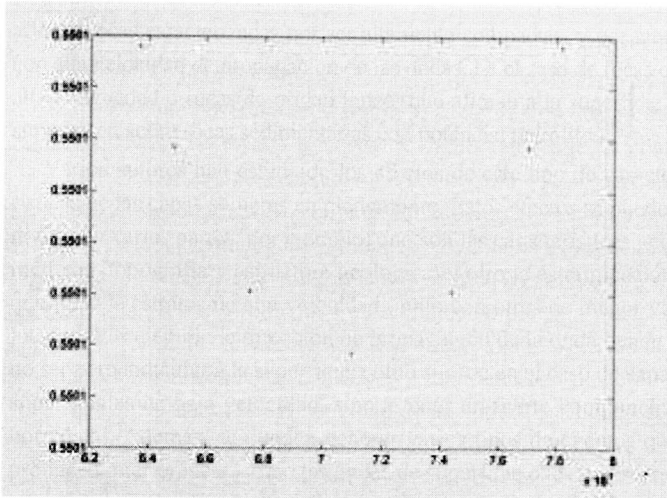


Figura 3. Análisis gráfico velocidades $1(X_{mig}$ y $Z_{mig})$. Curva que muestra el ajuste del valor de velocidad de intervalo dado al programa central, en el CDP 319. El valor de velocidad es de 2220 m/s y la apertura de migración de 60 metros.

Identificación del reflector en el CDP alrededor del rayo central

En una sección apilada se registraron posiciones de fuente-receptor y quince tiempos de tránsito (figura 1). Igual procedimiento se realizó en una familia CMP a lo largo del reflector (figura 2). Luego el programa con el algoritmo implantado permite ingresar el valor de la velocidad de migración y muestra una gráfica de forma hiperbólica, con valores X_{mig} contra Z_{mig} muy cercanos cuando la velocidad es correcta (figura 3).

Con los valores de velocidad obtenidos en cada punto de la grilla se elaboró el modelo de velocidades (figura 4).

Una vez calculado y validado minuciosamente el modelo de velocidades para la línea sísmica M-72-01 con los datos de pozo, se cargaron los datos al software ProMax y se implementó un flujo de procesamiento para efectuar la migración pre-apilada en profundidad lográndose resultados satisfactorios, obviamente susceptibles de ser mejorados mediante la utilización de la tomografía en un proceso interactivo y repetitivo.

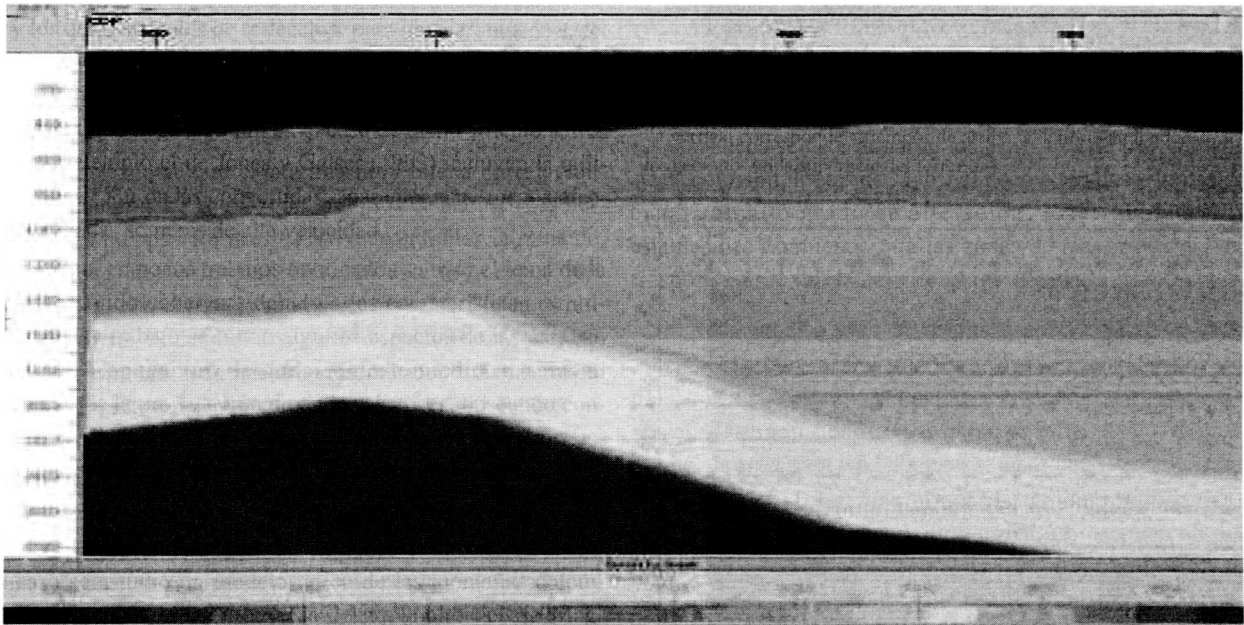


Figura 4. Modelo final de velocidades de intervalo para la línea M-72-01. Este modelo es el resultado de cargar al sistema las velocidades de intervalo obtenidas mediante la aplicación de la teoría paraxial. El modelo fue validado con la información de pozo y mejorado en un proceso interactivo.

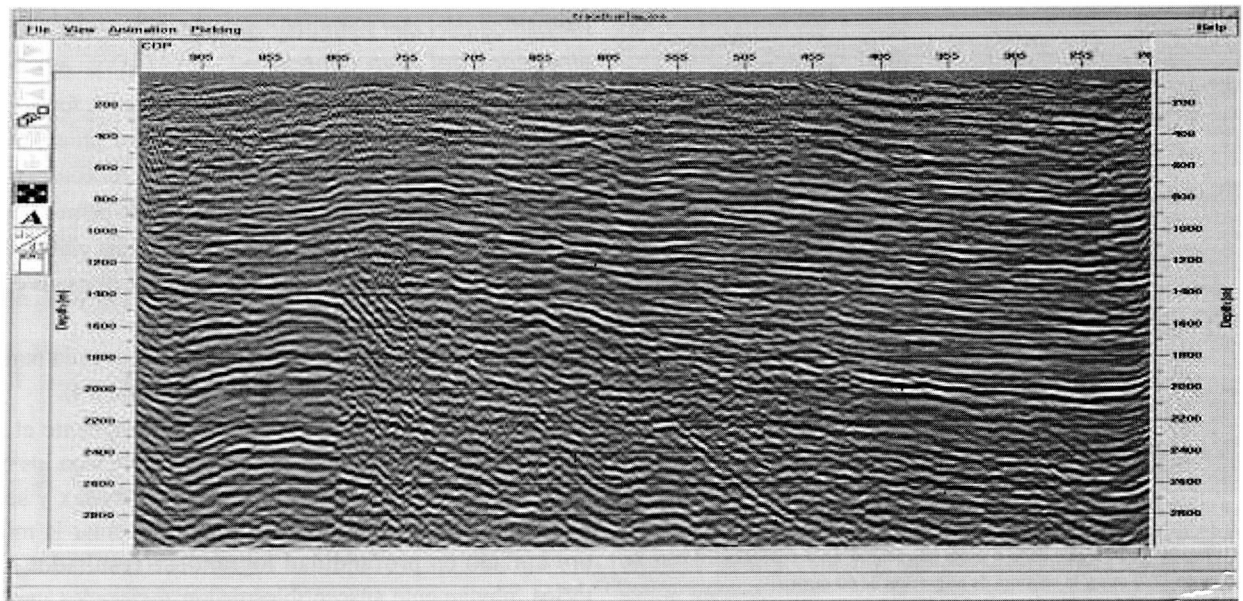


Figura 5. Migración pre-apilado en profundidad línea M-72-01. Esta sección muestra las características del subsuelo. La resolución del programa y la longitud del tendido limitan de alguna manera la calidad de la sección.

Finalmente se hace la *prestack depth migration* en profundidad usando Promax y se obtiene la sección migrada en profundidad (figura 5).

La secuencia de pasos implementada se apoyó en el módulo de Análisis de Velocidades de Migración (*Migration Velocity Análisis MVA*) del software mencionado. Aunque en el MVA se presentan varias opciones para construir y depurar el modelo de velocidad de intervalo –la metodología implementada fue muy escueta–, simplemente el modelo de velocidades cargado fue revisado y ajustado hasta obtener una sección migrada admisible.

CONCLUSIONES

El cálculo minucioso de los tiempos de viaje y la posición fuente-receptor de las secciones sísmicas, y su posterior utilización mediante la aproximación hiperbólica, son la base para la estimación de la función característica de punto de Hamilton, que está asociada a cada superficie reflectora en la vecindad del rayo central.

La estimación mediante la teoría paraxial de la función de tiempos de tránsito de difracción a partir de los tiempos de tránsito de reflexión permite calcular el valor de la velocidad de intervalo en profundidad, independiente de la complejidad geológica, la geometría del subsuelo y las variaciones de velocidad, y en consecuencia es de gran utilidad en los procesos de migración en profundidad de las secciones sísmicas.

La aplicación de la teoría del rayo paraxial en el cálculo de velocidades de intervalo en profundidad se constituye en un método eficiente, robusto y económico, que favorece procesos de imagen

como migraciones pre-apilado y pos-apilado en profundidad. El método presenta gran estabilidad y garantiza desde el punto de vista geofísico un acercamiento al valor de velocidad real, con márgenes de error entre el 3% y el 10%. Esto es muy importante ya que procesos como la migración son demasiado sensibles a las velocidades.

En la actualidad los retos de la industria –y en particular de técnicas como la migración pre-apilado en profundidad– demandan trabajo en equipo permanente entre procesador e intérprete, dado que se trata de determinar la geología del subsuelo, mejorar la capacidad prospectiva y disminuir los factores riesgo y costo en la operación.

BIBLIOGRAFÍA

- BORTFELD, R. "Geometrical ray theory: Rays and traveltimes in seismic systems (Second order approximations of the traveltimes)". *Geophysics*, vol 54, number 3, march 1989.
- HUBRAL, PETER, & KREY, THEODOR. 1980. *Interval velocities from seismic reflection time measurements*, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, Oklahoma.
- MONTES, L. 1999. Estimación de las velocidades de intervalo a través de la función de tiempos de difracción de la sísmica geométrica. *Geología Colombiana*, No. 24. Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá.
- MONTES, L. 2000. Análisis de sensibilidad en la estimación de la función característica de punto de Hamilton de la sísmica geométrica. *Geofísica Colombiana*, No. 4. Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá.