

Obtención de la anisotropía en el procesamiento de datos sísmicos

Edenia de la Caridad Camejo Cordero

Correo electrónico: edenia@digicupet.cu

Centro de Investigaciones del Petróleo, La Habana, Cuba

Artículo Original

Resumen

En el procesamiento convencional de datos sísmicos (procesamiento de solo un tipo de onda P o S), para la obtención de imágenes con fines de exploración de hidrocarburos, se asume un modelo de la tierra isotrópico. Estudios recientes han demostrado que en zonas con evidencias de anisotropía, el proceso convencional de migración en tiempo produce imágenes con resolución pobre o localización lateral errónea de eventos estructurales con grandes inclinaciones, debido a variaciones en las propiedades elásticas según la dirección de propagación de las ondas sísmicas. En la actualidad, este tema debe tomarse en cuenta, debido al uso cada vez mayor de grandes alejamientos, es decir, grandes distancias fuente-receptor (alejamiento) en las adquisiciones sísmicas, por lo que es un objetivo compensar estos efectos negativos y así obtener una mejora en la imagen sísmica. Para obtener la anisotropía se partió de una secuencia de procesamiento de alta densidad que tiene en cuenta las características del medio, donde los datos pueden ser analizados muestra a muestra en todo el volumen. Como resultado final se tiene la comparación entre las sumas migradas en tiempo, con la aplicación de la corrección cinemática estándar (Normal Moveout o NMO, por sus siglas en inglés) y la otra, con la aplicación de los valores de anisotropía obtenidos, permitiendo una mejora en la continuidad de los reflectores en la imagen sísmica, y a su vez una interpretación más confiable, con la consecuente disminución de la incertidumbre y los riesgos en la exploración petrolera.

Palabras clave: anisotropía efectiva, anelipticidad, migración en tiempo, imagen sísmica, procesamiento de datos sísmicos

Recibido: 28 de junio del 2012

Aprobado: 19 de agosto del 2012

INTRODUCCIÓN

La anisotropía constituye una de las propiedades fundamentales del subsuelo, definiéndose como la variación de las propiedades físicas de un material con respecto a la dirección en la que se mide. [1] Existen diversos tipos de anisotropía, como la isotropía transversal con el eje de simetría vertical (VTI por sus siglas en inglés), la isotropía transversal con el eje de simetría horizontal (HTI por sus siglas en inglés), anisotropía débil o anisotropía de Thomsen y la anisotropía elíptica, entre otras, siendo la más común la VTI, que es la utilizada por la autora por ser esta la base del método. La misma se amplía en medios estratificados horizontalmente.

Estudios recientes han demostrado que en zonas con evidencias de anisotropía, el proceso convencional de

migración en tiempo produce imágenes con una resolución pobre o una localización lateral errónea de eventos estructurales con fuerte inclinación, así como la transformación tiempo-profundidad errónea. Por lo tanto, es importante determinar parámetros de anisotropía que permitan compensar sus efectos. [2] En el proceso de datos conocidos como corrección cinemática (NMO, por sus siglas en inglés), las reflexiones tienen tiempos de arribo que se aproximan a una hipérbola en gráficas de tiempo contra distancia fuente-receptor o alejamiento. A medida que el alejamiento aumenta, la curva de reflexión o moveout se desvía de una hipérbola debido a efectos como la estratificación, la heterogeneidad lateral en el medio y la presencia de anisotropía.

En la actualidad se deben tomar en cuenta los criterios anteriores, debido al uso cada vez mayor de grandes alejamientos, es decir, grandes distancias fuente-receptor (alejamiento) en las adquisiciones sísmicas, por lo que es un objetivo compensar estos efectos negativos y así obtener una mejora en la imagen sísmica.

Existe un número de procedimientos para la incorporación anisotrópica en el procesamiento sísmico en tiempo. Para el procesamiento en tiempo VTI son requeridos dos parámetros: el parámetro de la anelipticidad η (Eta) y la velocidad NMO (V_{nmo}). Si el máximo alejamiento es relativamente grande en relación con la profundidad del reflector y el dato tiene una alta relativa relación señal-ruido, es posible estimar el valor de η que puede ser usado como un indicador de anisotropía y/o la heterogeneidad vertical asociada a la no hiperbolicidad de los eventos. Los métodos para incorporar anisotropía en los análisis de velocidad, incluyen:

Corrección cinemática (NMO, por sus siglas en inglés) que usa el método de la hipérbola desplazada.

Un análisis NMO de tendido (alejamiento corto para determinar la V_{nmo} , seguido por otro de tendido largo para estimar η).

- Estimación de los parámetros de anisotropía usando los tiempos desplazados en función del alejamiento de los eventos inclinados.

- Una búsqueda de semblanza 2D sobre la velocidad horizontal V_h (la cual depende del parámetro η) y V_{nmo} .

Para estimar el parámetro η se requieren alejamientos o distancias fuente-receptor en los datos comparables o mayores a las profundidades de los reflectores de interés. La estimación de η se incorpora junto con V_{nmo} a los procesos de corrección de NMO, corrección que tiene en cuenta la inclinación de los reflectores (*Dip move out* o DMO, por sus siglas en inglés) y a la migración en tiempo. El parámetro η se usa como un indicador de anisotropía y/o heterogeneidad vertical del medio en cuestión. [2]

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos sísmicos marinos utilizados en este trabajo provienen de un levantamiento 2D convencional adquirido por SCAN Geophysical para Petronas Carigali en el año 2007, en la región noroccidental de Cuba, correspondiente al dominio tectonoestratigráfico Pinar del Río. Como fuente de excitación se utilizaron cañones de aire a una profundidad de 6 m con cable de arrastre a una profundidad de 7 m, un intervalo entre fuentes de 25 m y entre receptores de 12,5 metros, con un alejamiento mínimo de 157 m y máximo de 8 000 m, con un total de 640 canales, para un recubrimiento de 16 000 %. En la figura 1, el círculo enmarca el área de estudio.

Para la obtención de la anisotropía en el procesamiento de datos sísmicos 2D, se aplicó una metodología de selección automática de alta densidad (HDPIC, por sus siglas en inglés) dentro de la secuencia de procesamiento, donde se usaron datos reales en la región noroccidental de Pinar del Río. Este método es usado también en datos terrestres

donde no existen grandes alejamientos ni variaciones laterales de velocidad, pero sí realiza una buena selección de velocidades, mejorando los resultados de la imagen sísmica. [3]

El método de selección automática de velocidad de alta densidad (HDPIC, por sus siglas en inglés) es usado para generar densos volúmenes de velocidad y parámetros cinemáticos (*moveout*) de anelipticidad. Está basado en una aproximación original de la ecuación cinemática de la hipérbola anelíptica desplazada. Ambos parámetros de velocidad y anelipticidad son estimados usando los datos de cobertura completa. La búsqueda de los dos parámetros internos no correlacionados, generan paneles biespectrales para cualquier nivel de tiempo. El muestreo de estos parámetros está relacionado directamente con la sensibilidad de la corrección cinemática o normal *moveout*.

Por razones prácticas, el método de selección automática de alta densidad saca los parámetros no correlacionados d_{tn} y τ_o , para ayudar a la interpolación y el filtrado de los parámetros cinemáticos.

Los parámetros de salida de este método son:

- El DN: d_{tn} depende de la velocidad, η , τ_o y está relacionado con el valor máximo de alejamiento.
- El TO: τ_o depende de la anelipticidad η , siendo τ_o el tiempo de alejamiento cero donde el *move out* es hiperbólico, (figura 2).
- Semblanza (0-100).

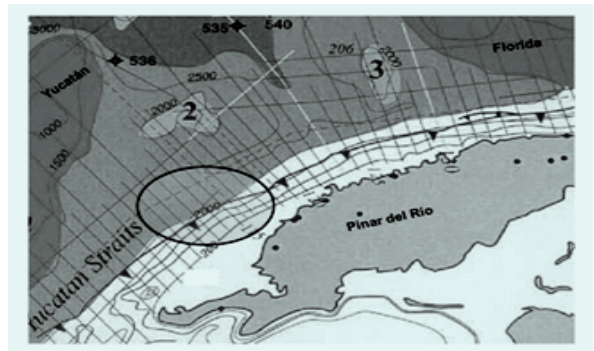


Fig. 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

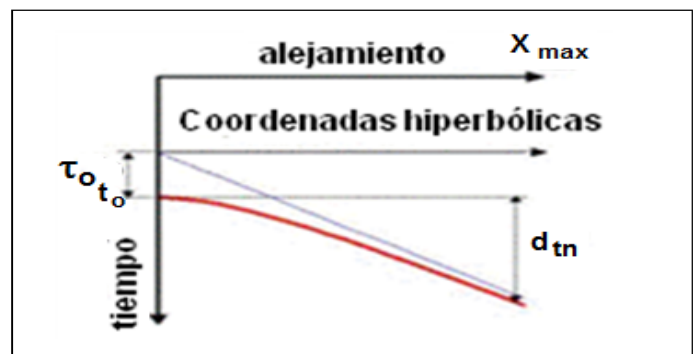


Fig. 2. Desplazamiento anelíptico de la curva de reflexión, relación entre los parámetros d_{tn} , τ_o y el alejamiento. [4,5]

El software Geocluster posee entre sus programas la posibilidad de aplicar correcciones cinemáticas teniendo en cuenta la velocidad y la anelipticidad, por medio de una parametrización de la hipérbola desplazada que tiene en cuenta la velocidad del medio y la anisotropía efectiva. Para la ejecución del proceso de cálculo de anisotropía por esta técnica se cuenta con una secuencia de procesos dentro del software de procesamiento utilizado [4] que son:

- Selección biespectral automática de alta densidad de velocidad y anelipticidad
- Remuestreo e interpolación de los campos DN y TO.
- Filtrado geoestadístico para la eliminación de valores anómalos o espurios.
- Conversión de las entradas DN y TO en trazas de velocidad y anelipticidad.
- Ejecución de las correcciones cinemáticas de alta densidad usando las trazas de entrada VI y AN del medio.

DISCUSIÓN

El dato sísmico se procesó según una secuencia estándar con migración antes de la suma en tiempo. La metodología de selección automática de alta densidad (HDPIC), en la que se use una opción u otra, está determinada por la calidad del dato sísmico y lo que se quiera obtener en un área específica.

El uso de este método se ha enfocado fundamentalmente para la salida de los sismogramas migrados, no obstante, se puede utilizar en etapas tempranas del procesamiento que utiliza la migración de Gapsi. [5] Este método realiza una migración espacial, donde los eventos inclinados son movidos para grandes alejamiento dentro del sismograma y elimina los lazos o difracciones que puedan atentar contra la calidad de los resultados.

Para comenzar una secuencia de HDPIC, si se realiza en etapas tempranas del procesamiento es necesario hacerle un preacondicionamiento al dato, con el objetivo de eliminar ruidos y que exista una mejor coherencia, para que los resultados de la selección por HDPIC sean óptimos. En este caso no fue necesario, ya que se hizo en etapas finales del procesamiento a partir de los sismogramas migrados; aquí el dato está ordenado en sismogramas por punto medio común (CMP) y tiene en las salidas trazas de DN y TO, suma de control y sismogramas corregidos. [6] Esta secuencia de comandos, no solo es usada para datos marinos, también se emplea en datos terrestres donde no existen grandes alejamientos, realizando una buena selección de velocidades, lo cual mejora así los resultados de la imagen sísmica.

La secuencia de cálculo de la anisotropía fue la siguiente:

Este método es parte de una secuencia de procesamiento de alta densidad, en los cuales los parámetros no hiperbólicos son calculados y procesados traza a traza. Los campos DN y TO son interpolados y filtrados en dos flujos por separados.

• Obtención de DN, TO y Skeleton

A partir de los sismogramas migrados se ejecuta este método, que produce campos DN y TO los cuales no están completos; las selecciones se encuentran organizadas por patrones en esqueleto de horizontes (Skeleton, máximos de semblanzas que se corresponden con los valores de los campos de DN y TO para cada tiempo). Posteriormente las selecciones pudieran ser interpoladas para obtener un patrón de selección denso, donde se muestra la efectiva continuidad lateral de las selecciones. (figura 3)

• Remuestreo e interpolación

En la figura 4 se muestra el resultado del remuestreo y de la interpolación de los campos DN y TO, donde se rellenan aquellos espacios que no fueron seleccionados en el paso anterior. Esta operación no modifica la selección de los valores originales y mejora la coherencia de la información.

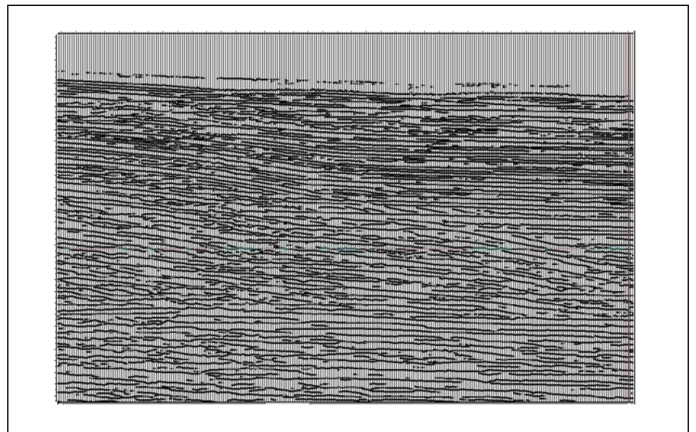


Fig. 3. Máximo de semblanzas correspondientes a los valores calculados de DN y TO (Skeleton).

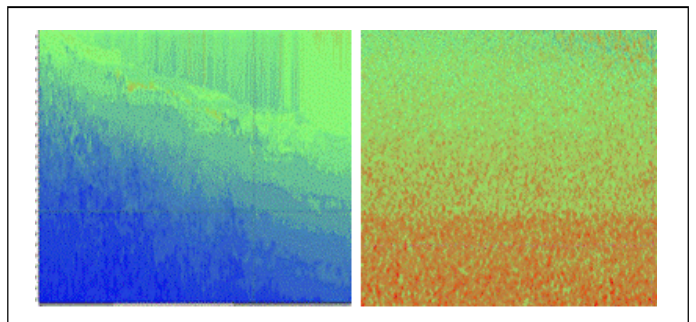


Fig. 4. Resultado de la aplicación HDBOX FILL, donde se muestran los campos interpolados DN (izquierda) y TO (derecha).

• Filtrado geoestadístico

Posteriormente se realizó un filtrado geoestadístico a ambos campos DN y TO, donde se ilustra una distribución espacial de las componentes de baja frecuencia, en este paso se controlan las altas frecuencias y se extraen del dato las bajas frecuencias. Ese remanente se filtra y se suma a la tendencia del campo y a la filtrada en términos de la residual, con el objetivo de remover los valores anómalos o espurios, obteniéndose un campo suavizado (figura 5). Cuando se quieren obtener campos de velocidades suavizados para la migración se utiliza la tendencia del campo.

• Conversión de las entradas DN y TO en trazas de velocidad y anelipticidad

A continuación se aplicó la conversión de las selecciones de los parámetros cinemáticos (DN y TO) en sus correspondientes valores de velocidad y anelipticidad η (VI y AN); esta conversión es usualmente hecha después de interpolar y filtrar los campos DN y TO. Posteriormente estas trazas son llevadas a ficheros VI y SH. Las secuencias de comandos para su ejecución utilizan el fichero de fondo marino y se realiza una corrección de las amplitudes anómalas.

Una vez obtenido el fichero de velocidad VI y de anelipticidad AN, se realizó un control de calidad en los sismogramas, se utilizó un *mute* (silenciamiento externo) ancho con el objetivo de eliminar el estiramiento de las trazas, permitiendo obtener mayor información de las trazas lejanas y corrigiendo los reflectores como se indica en los círculos (figura 6).

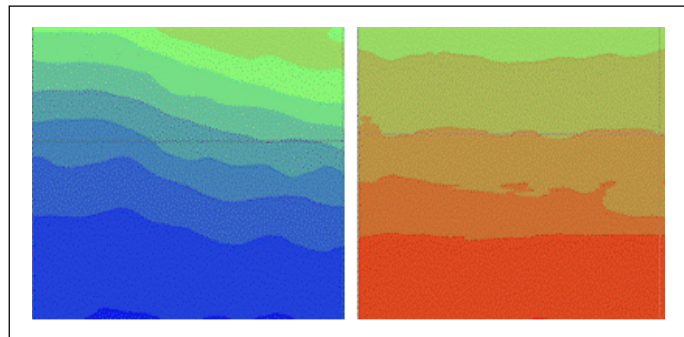


Fig. 5. Resultado del filtrado geoestadístico de los campos DN (izquierda) y TO (derecha).

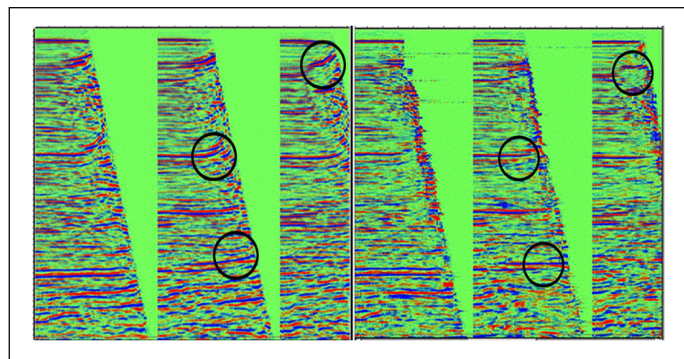


Fig. 6. Sismograma con la corrección cinemática estándar o NMO (izquierda) y con la corrección anisotrópica o HDPIC (derecha).

RESULTADOS

Como resultado final en este estudio, se aplicó una corrección cinemática de alta densidad que ejecuta las correcciones usando las trazas de entrada que contienen los parámetros calculados en la fase previa. En la figura 7 las flechas indican una mejoría de la coherencia de las trazas sísmicas en la suma migrada, como resultado del procesamiento realizado considerando el efecto de la anisotropía.

Finalmente, en la figura 8 se muestra una superposición en un sector de la suma migrada de los valores de anisotropía

calculados a partir de este método, como indican las flechas, lo que permitió validar la presencia de anisotropía en el área de estudio.

En dicha figura la escala de colores caracteriza cuantitativamente los grados de anisotropía que existen y los sitios en la sección migrada en tiempo donde esta se manifiesta. Ello sin dudas constituye un resultado importante, pues permite obtener una mejor continuidad de los reflectores en la imagen sísmica, contribuyendo a una interpretación más confiable en la que disminuye el grado de incertidumbre asociado a la interpretación sísmica.

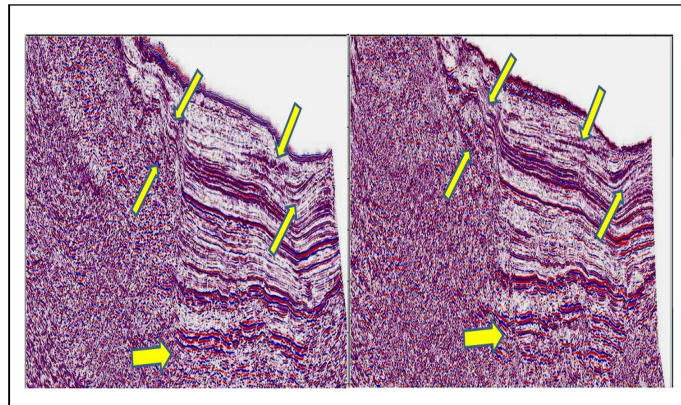


Fig. 7. Resultado de la suma migrada en tiempo sin la corrección (izquierda) y de la suma migrada en tiempo con la corrección de los valores VI y AN (derecha).

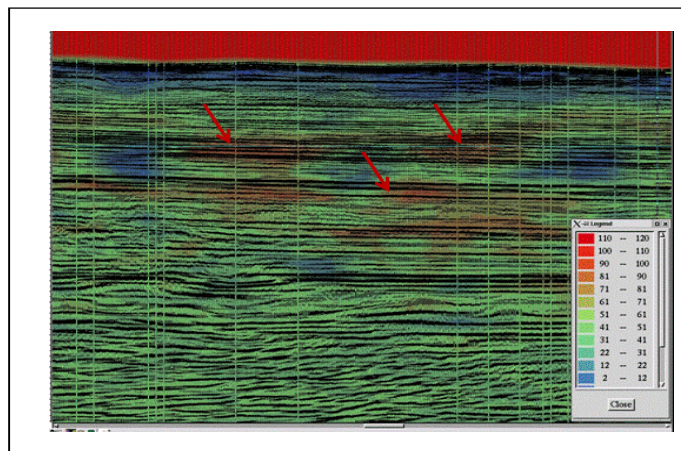


Fig. 8. Superposición en la suma migrada de los valores de anisotropía obtenidos por HDPIC.

CONCLUSIONES

- Con la aplicación de esta secuencia de selección bispectral de alta densidad de velocidad y anisotropía, se puede afirmar que la aproximación más adecuada para realizar el análisis de velocidad sobre un medio VTI es la aproximación no hiperbólica, debido a que se corrigen totalmente los reflectores, y permite obtener una mejor imagen en la suma final.

- Al corregirse estos reflectores se aplica un *mute* ancho, lo cual brinda una mayor información de las trazas lejanas a diferencia de las trazas corregidas al aplicar la aproximación hiperbólica (NMO).

RECOMENDACIONES

• Se recomienda aplicar este método preferentemente en áreas marinas de nuestra zona económica exclusiva de Cuba en el Golfo de México (ZEE), en particular en aquellas líneas sísmicas que tengan especial interés, por revelar posibles objetivos y/o prospectos exploratorios.

RECONOCIMIENTOS

La autora desea agradecer al ingeniero Aníbal Tristá por la ayuda brindada y a los revisores del artículo ingenieros Grisel A. Ameijeiras Fernández y Romel J. Ojeda César.

REFERENCIAS

1. **CABELLO, Yolenis.** "Análisis de velocidad en un medio anisotrópico de tipo VTI para ondas PP y PS". Directora: Milagros Aldana, Tesis de grado, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela, 2007. 119 pp.
2. **CALDERÓN MACÍAS, Carlos; RAMOS MARTÍNEZ, Jaime; KERDAN, Tatiana et al.** "Procesamiento en tiempo de datos sísmicos de reflexión de ondas P en medios con isotropía transversal con el eje de simetría vertical (ITV)". GEOS, 2004, vol. 23, pp. 302-309.

3. **AMEIJEIRAS FERNÁNDEZ, Grisel.** "Informe de procesamiento sísmico de la línea P3-05-51". Archivos del Ceinpet. La Habana, 2007, 12pp.
4. **COMPAÑÍA GENERAL DE GEOFÍSICA (CGG).** "Manual de Usuario, HDPIC, del Software Geocluster 3100". Francia, 2004. pp. 1-22.
5. **COMPAÑÍA GENERAL DE GEOFÍSICA (CGG).** "Manual de Usuario, GAPSI, del Software Geocluster 3100". Francia, 2004. pp. 1-6.
6. **CAMEJO, Edenia; TRISTÁ Aníbal.** "Introducción de una metodología de selección automática de alta densidad de velocidad y anisotropía en el procesamiento sísmico". *III Convención de Ciencias de la Tierra, La Habana, Sociedad Cubana de Geología, La Habana, 2009.*

AUTORA

Edenia de la Caridad Camejo Cordero

Ingeniera Geofísica, Especialista II en Investigación, Innovación y Desarrollo, Centro de Investigaciones del Petróleo, La Habana, Cuba

Getting Anisotropy in the Seismic Data Processing

Abstract

In a conventional processing of seismic data (processing of only one type of wave, P or S), to get images for hydrocarbons exploration, an isotropic model of the earth is assumed. Studies have demonstrated that in areas with evidences of anisotropy, the conventional process of time migration produces images with poor resolution or erroneous lateral localization of structural events with high inclinations, due to variations in the elastic properties according to the direction of propagation of the seismic waves. At present this topic is of great importance in seismic acquisitions because of the vast employ of the far offset (large distances source–receptor). To compensate this negative effects is a priority objective to improve the seismic information. To obtain the anisotropy first started from a sequence of high density processing that takes into consideration the characteristics of the earth; and data can be analyzed in all volume. As a final result; getting the comparison between the time migration stack, with the application of standard normal Moveout correction (NMO) and the others, that takes into consideration the obtained anisotropy values, allowing an improvement in the continuity of the reflectors in the seismic images, and at the same time a more reliable interpretation, with the consequent decrease of the uncertainty and the risks in the oil exploration.

Key words: anellepticity, effective anisotropy, seismic data processing, seismic image, time migration