

# Reducción de ruido *pre-stack* trabajando con vectores de *offset* común

Por **Marcelo D. Roizman**, de GeoNodos

**Este trabajo expone un método para reducir el ruido *pre-stack* en el dominio *Common Offset Vectors* (COV) aplicado a datos de sísmica onshore de geometría ortogonal y ancho acimutal. Para reducir ruido aleatorio, el proceso de filtrado utilizado en esta oportunidad fue deconvolución Fxy.**

Este trabajo ha sido galardonado con el 1.º Premio del Simposio de Geofísica del VIII.º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos (Mar del Plata, noviembre de 2011).

**E**n sísmica 2D, una forma natural de agrupar las trazas sísmicas *pre-stack* (pre-apilamiento) es ordenar los datos en planos de *offset* común (*Common Offset Gathers* - COG). De igual manera, en sísmica 3D marina, los planos ordenados en *offset* quedan definidos por la geometría de registración y, generalmente, bien cubiertos en todo el volumen sísmico. En sísmica 3D terrestre, evidentemente, la distribución de *offsets* está dada por la geometría de registración, pero –a diferencia del 2D y el 3D marino– no existe un único modo natural de agrupar las trazas para formar los COG.

Debido a la repetición de trazas en algunos *bins* y a la ausencia completa de trazas en otros, cuando se forman los COG quedan mal generados. La manera natural de construir los planos de *offset* para geometrías ortogonales de acimut ancho es agrupar las trazas en vectores de *offset* común (*Common Offset Vector Gathers*, conocidos como COV). La manera de organizar estos COV es agrupar las trazas por rango de *inline-offset* y *crossline-offset*, y formar

tantos planos de *fold* unitario igual al número de *fold* nominal de la geometría de registración.

Para geometrías ortogonales de acimut amplio, podemos hablar de dos formas de agrupar los datos para obtener un muestreo espacial uniforme o cuasi-uniforme, estos son el dominio *cross-spread* (XSPREAD) y el COV. La principal ventaja de ordenar los datos en XSPREAD y COV se encuentra en la posibilidad de aplicar algoritmos *pre-stack* 3D como la interpolación, DMO y migración. En este trabajo se presenta el empleo de técnicas de reducción de ruidos aleatorios y coherentes con deconvolución FXY aplicados en datos organizados en COV.

La reducción de ruido aleatorio en el dominio *cross-spread* está en la actualidad ampliamente difundida (Roizman M., 2005) y aplicando deconvolución Fxy de esta forma, se obtienen muy buenos resultados. Para la reducción *pre-stack* del ruido coherente, en cambio, se debe aplicar un filtro FKxKy en *cross-spread*. Tanto los ruidos coherentes de fuente (*ground-roll*), como los ruidos aleatorios, pueden ser reducidos en un solo proceso si se aplica deconvolución Fxy en datos ordenados por COV.

## Planos de *offset*

### Definición de nuevas distancias

Las coordenadas X e Y de fuente y receptor definen completamente la posición de una traza sísmica en el espacio, siempre que trabajemos con datos a plano final, lo que nos permite independizarnos de la elevación de fuente y receptor. Este es un sistema de referencia útil para ubicar nuestro proyecto en el espacio.

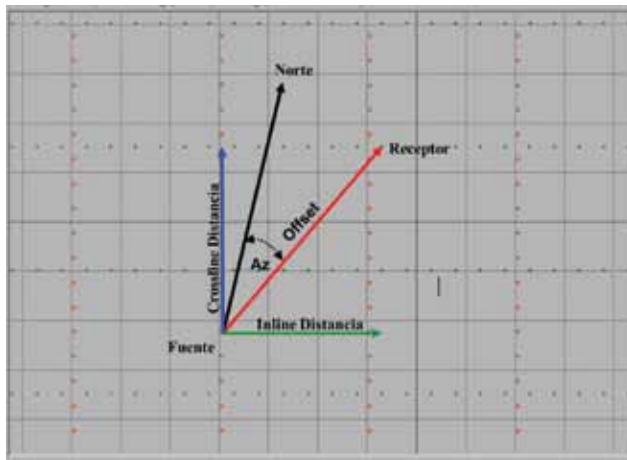


Figura 1. Sistemas locales de referencia.

De manera natural, resulta más eficaz en procesamiento sísmico emplear un sistema local, utilizando como origen el punto de disparo, definiendo una distancia o apartamiento fuente-receptor y un acimut –ángulo horario medido desde el norte geográfico hasta el segmento fuente-receptor– (sistema de referencia polar local). Para las geometrías de registración ortogonales (donde las líneas de receptor y líneas de fuente se cortan en un ángulo recto) es ventajoso utilizar otro sistema de referencia, también local, en el cual se descompone el vector distan-

cia en dos vectores distancia *inline* y distancia *crossline* (nuevo sistema de referencia cartesiano local, figura 1).

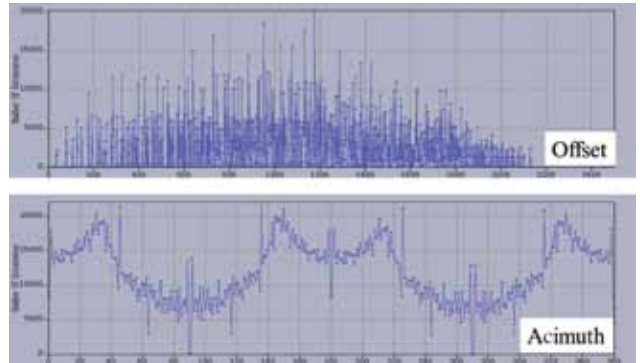


Figura 2. Histogramas de *offset* y acimut correspondientes a un 3D terrestre.

### Análisis de atributos geométricos

Cuando analizamos los histogramas de los atributos geométricos de *offset* y acimut de un proyecto 3D terrestre (figura 2), vemos que el agrupamiento de distancias y ángulos no se presenta en forma discreta, esto es debido a que no se encuentran fraccionados en pequeños grupos a diferencia de un línea sísmica 2D (figura 3). Por esta razón, en un dato 3D terrestre tenemos formas diferentes de elegir los planos de *offset*.

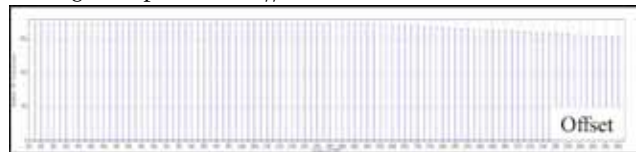


Figura 3. Histograma de distribución de *offset* para una línea sísmica 2D terrestre.

Al formar un plano de *offset* común (definidos generalmente por el *offset* central y un paso entre cada plano), este plano no queda uniformemente cubierto a lo largo del área de registración (figura 4).

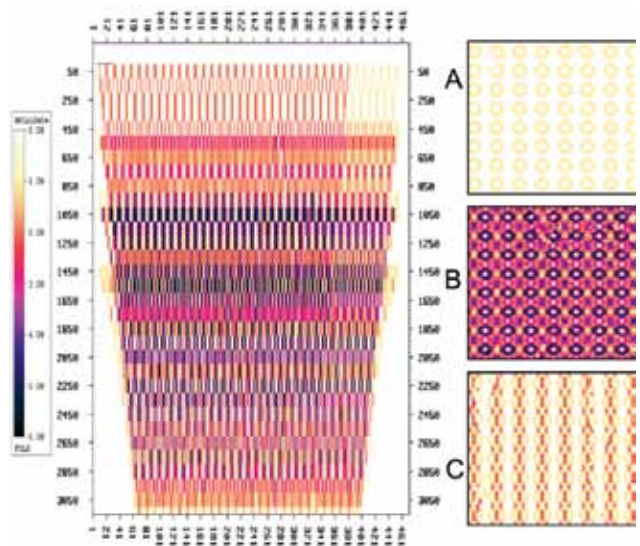


Figura 4. Cubrimiento de los planos de *offset* utilizados como entrada a un PSTM.

## Construcción de los COV

Analizando los histogramas de los nuevos atributos distancia-*inline* (i-dist) y distancia-*xline* (x-dist), (figura 5), vemos que los atributos están distribuidos en forma discreta. Podemos tomar rangos de las nuevas distancias y formar con las trazas sísmicas correspondientes un grupo de datos que se aproxima mucho a planos de *offset* constantes. Si tenemos en cuenta el signo de estas distancias, podremos agrupar en planos de *offset* y acimut constante.

Cuando hablamos de COV en datos sísmicos 3D terrestres, podemos pensarlos como un equivalente a los COG de la sísmica 2D, donde estos se muestran regulares en la mayoría de los casos.

Por ejemplo, en una línea 2D adquirida en la modalidad de *stack-array*, con un registro simétrico de 120 canales, 50 m entre puntos de emisión y recepción, obtenemos 60 planos de *offset* desde 25 a 2.975 m con un paso de 50 m. En 3D terrestres la equivalencia a *stack-array* se obtiene con una registración que respete los principios del muestreo espacial simétrico (Vermeer, 1998), en este caso podremos calcular los COV de manera equivalente a un 2D. El número de planos será igual al cubrimiento nominal del 3D, el paso en dirección *xline* igual a la distancia entre líneas de receptor, y el paso en dirección *inline* igual a la distancia entre líneas de fuente. Para un 3D con 250 m entre líneas de fuente y 150 m entre líneas de receptor, con un *offset* máximo en *inline* de 1.625 m y *xline* de 1.125 m, tomamos por ejemplo fijo el rango de i-dist centrado en 125 m con una apertura de +/- 125 m y variamos los rangos de x-dist desde 75 m a 975 m con una apertura de +/- 75 m, con esto generamos 7 planos de *fold* unitario. Podemos completar hasta el *fold* nominal siguiendo el mismo procedimiento e incrementando paso a paso desde 125 m la distancia central del rango *inline* a 1.375 m cada 250 m.

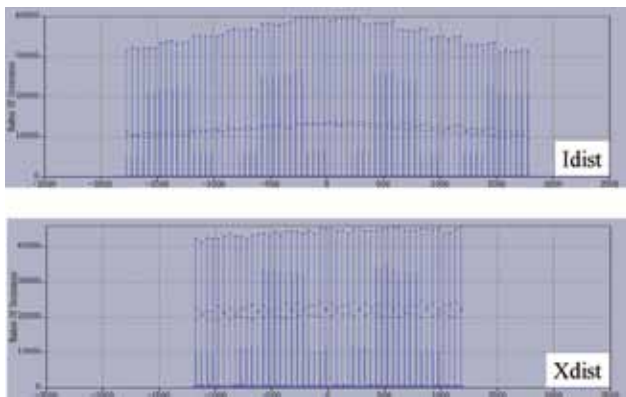


Figura 5. Histograma de distancias *inline* y *crossline*.

De otra forma, si  $I_0$  y  $X_0$  (figura 6) son las distancias centrales *inline* y *xline*,  $D_x$  y  $D_i$  las aperturas medias dadas por la distancia entre líneas de fuente y líneas de receptor, entonces las distancias para cada plano deben satisfacer las siguientes condiciones:

$$X_0 - D_x \leq X_{\text{dist}} \leq X_0 + D_x \text{ y } I_0 - D_i \leq I_{\text{dist}} \leq I_0 + D_i$$

Si no tenemos en cuenta el signo de las distancias, podremos generar planos cuya propiedad sobresaliente sea la continuidad de los *offsets*. Si seleccionamos trazas

con distancias de igual signo, lo que obtenemos son planos cuya propiedad preponderante es la continuidad en la dirección o acimut. Por último, si seleccionamos cada traza por su signo, lo que se logra es honrar la dirección y el sentido. Cada uno de estos grupos o formas de elegir las trazas tiene sus ventajas y desventajas respecto de las otras y al mismo tiempo diferentes aplicaciones.

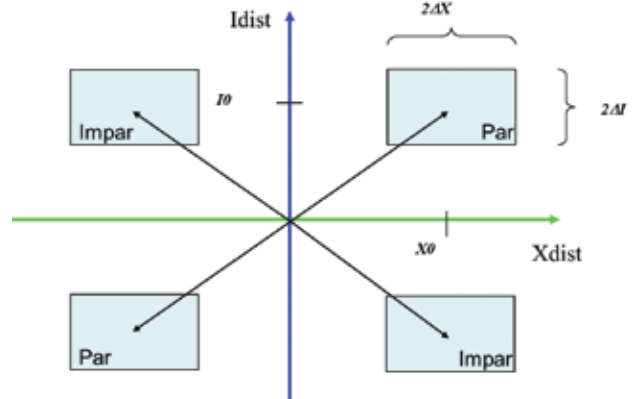


Figura 6. Definición de distancias para un COV.

## Propiedades de los diferentes grupos de *offset*

Si  $(I_0, X_0)$  define la coordenada central, la distribución de *offsets* para un determinado COV estará limitada por:

$$\text{MinD} = \sqrt{(I_0 - D_i)^2 + (X_0 - D_x)^2} \text{ y } \text{MaxD} = \sqrt{(I_0 + D_i)^2 + (X_0 + D_x)^2}$$

Y el rango de acimut por:

$$\text{Daz} = \text{tg}^{-1}((X_0 + D_x)/(I_0 - D_i)) - \text{tg}^{-1}((X_0 - D_x)/(I_0 + D_i))$$

Si no tenemos en cuenta el signo de las distancias i-dist y x-dist, tendremos una selección que tiene continuidad en los *offsets*. La variación de acimut dada por  $\text{Daz}$  disminuye al aumentar la distancia central del COV, pero dado que estamos eligiendo uno de los cuatro posibles cuadrantes no tendremos continuidad en el acimut. Esta selección de trazas es adecuada para una eficaz reducción del ruido sísmico, tanto en el caso del ruido aleatorio como del ruido coherente generado por la fuente sísmica.

Si el dato está corregido por NMO o NMO diferencial, con estáticas a plano final, las ondas superficiales generadas por la fuente (*ground-roll*) aparecen, en general, como ruido aleatorio debido a un muestreo espacial incorrecto. Este ruido puede ahora eliminarse con deconvolución  $F_{xy}$ , transformada *Radon* o cualquier otro algoritmo que aproveche las ventajas de poseer el dato multicanal en tres dimensiones.

Si tomamos los signos pares e impares por separado, tendremos continuidad en el acimut, pero deberemos duplicar tanto  $D_i$  como  $D_x$  para completar cada uno de los planos. Desde el punto de vista del *offset*, este aumento en la diferencia entre  $\text{MinD}$  y  $\text{MaxD}$  se aleja de lo ideal para un *Pseudo Minimal Dataset*. Si se tienen algunas precauciones, este dominio es el más adecuado para que el procesamiento sísmico tenga en cuenta las variaciones acimutales, los datos así procesados son aptos para detectar variaciones de amplitud con el acimut (AVAZ) o para el análisis acimutal de velocidades para la detección de fracturas.

## Aplicación

Esta forma de seleccionar las trazas en grupos de COV fue utilizada en el acondicionamiento de los datos sísmicos del ZIP1 del área Cabo Negro 3D, antes de migrar *pre-stack* en tiempo.

Este es un dato sísmico 3D adquirido con una buena distribución de *offset* y acimut, debido a la utilización de un patrón de registración casi cuadrado. Luego de la aplicación de una secuencia típica de procesamiento, con el mejor juego de correcciones estáticas y el campo de velocidades finales, el dato es corregido con NMO y llevado a plano final. Posteriormente, a este dato ya ordenado en COV se le aplicó una deconvolución Fxy.

Debido a que en este caso la geometría de registración no se aparta excesivamente de la geometría planificada en forma regular, se utilizó una "geometría teórica" calculada a partir de los números de estación de fuente y receptor. En la figura 7 se compara la geometría real y la calculada en una zona donde hay desplazamientos. Con esta técnica evitamos tener que regularizar o interpolar antes de la re-

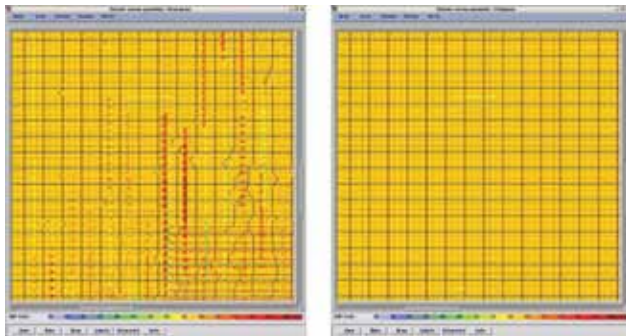


Figura 7. Geometría final (izquierda) y geometría "teórica" utilizada en el filtrado (derecha).

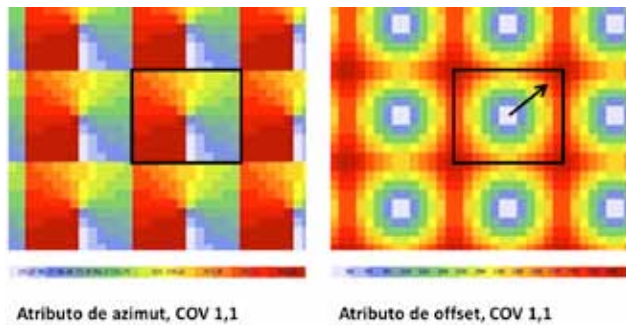


Figura 8. Acimut y distancia para el primer COV.

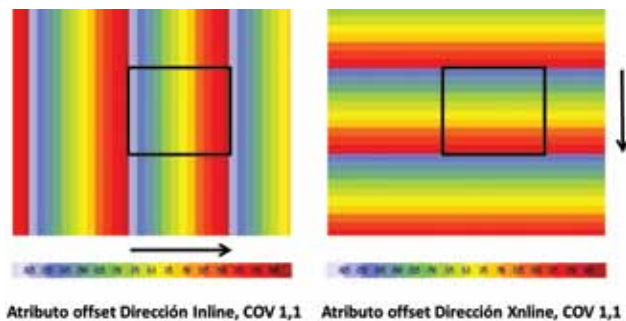


Figura 9. Distancia *inline* y *crossline* para el primer COV.

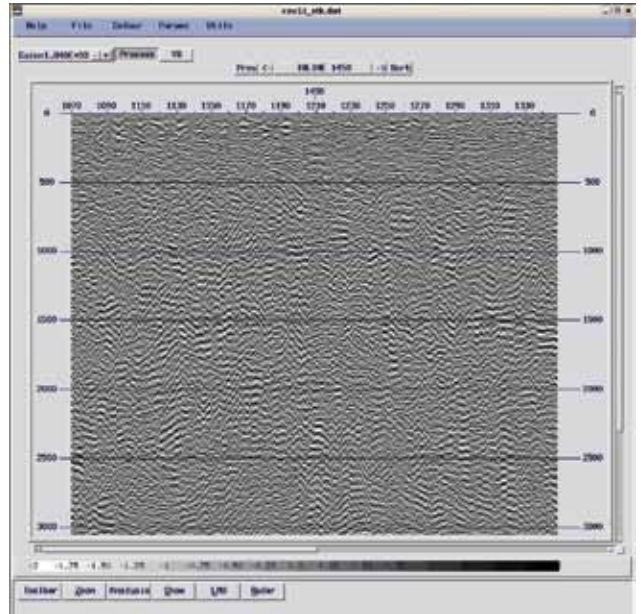


Figura 10. *Inline* extraída del COV11 sin filtrar.

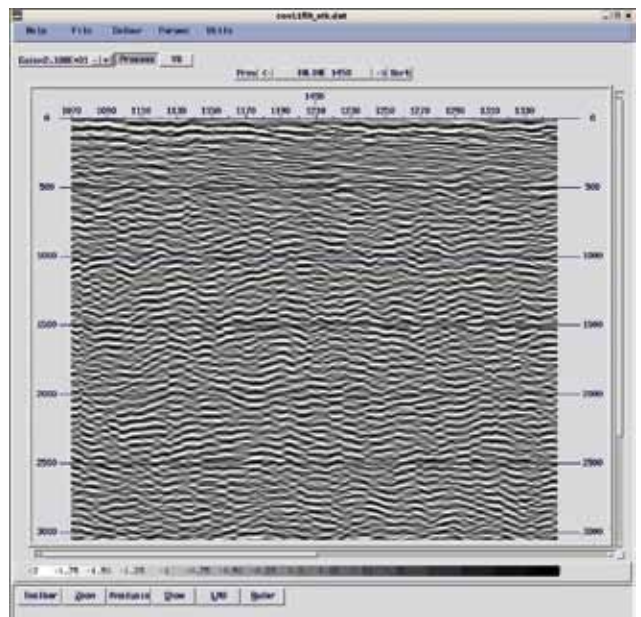


Figura 11. *Inline* extraída del COV11 filtrado.

ducción de ruido, y formar los COV de *fold* unitario.

Diferentes atributos geométricos son graficados para el área de una celda mínima, esta área queda establecida como: la región limitada por dos líneas de fuente y dos líneas de receptor. En la figura 8 se muestran los atributos geométricos de acimut y *offset* correspondientes al cubo de COV de mínimo *offset*. La figura 9 muestra los correspondientes atributos de distancia *inline* y *crossline*, para idéntica celda mínima.

Las trazas sísmicas sin filtrar correspondientes al COV11 de menor *offset* se muestran en la dirección *inline* en la figura 10, cada una de estas trazas tiene suma de 1. Las trazas filtradas se muestran en la figura 11. Se puede observar la mejora de la relación señal-ruido, principalmente en la parte somera cercana a los 500 m.

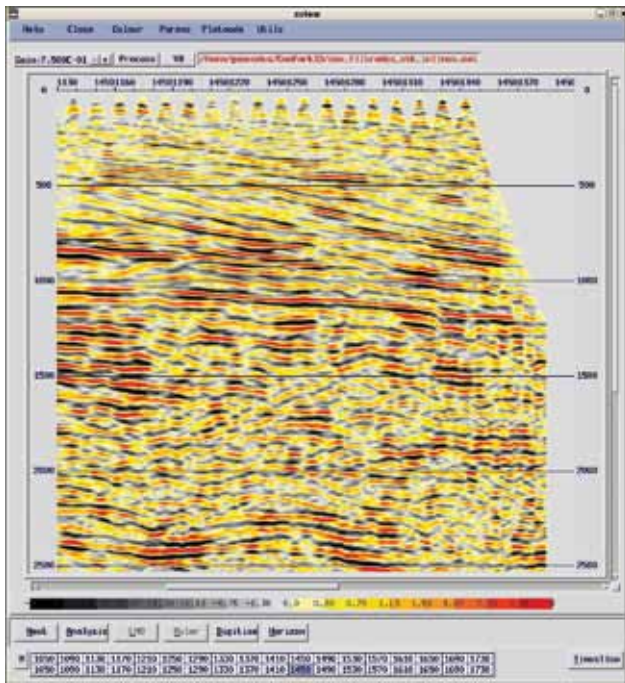


Figura 12. Suma con FXY *pre-stack*.

Cada uno de estos COV filtrados, 42 en total, se suman como control de calidad. Esta suma es expuesta en la figura 12, que puede ser comparada con la suma original

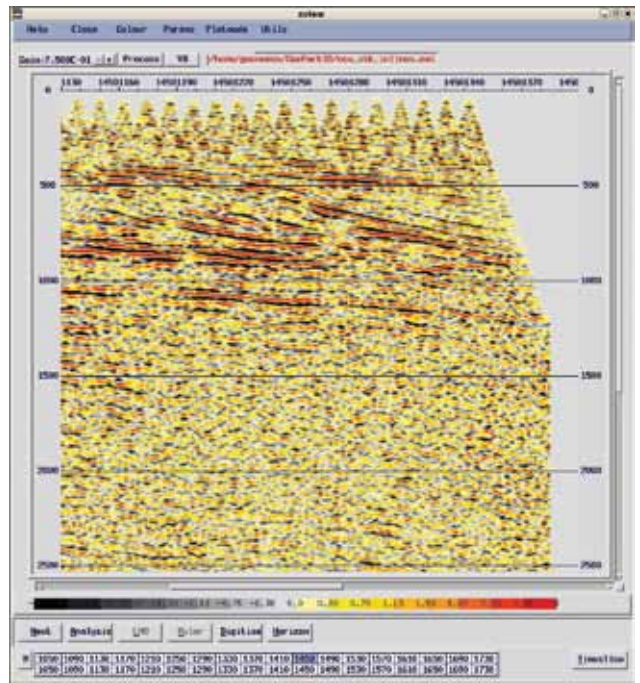


Figura 13. Suma sin filtrar.

mostrada en la figura 13. Ahora podemos ver cómo la mejora no sólo se presenta en los tiempos someros, sino también en los tiempos mayores, debido a que los COV

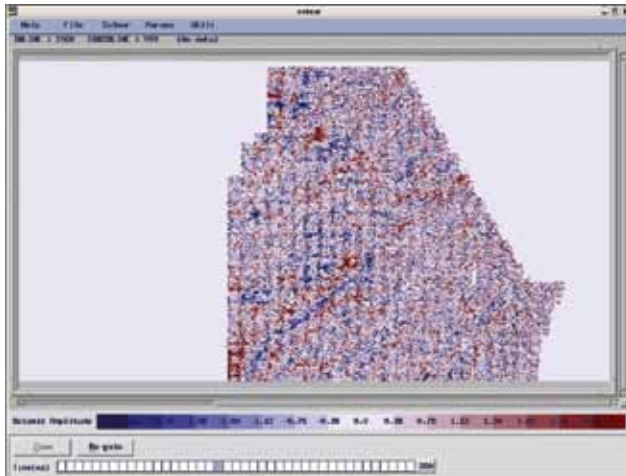


Figura 14. *Timeslice sin filtrar.*

con mayor *offset* central favorecen el mejoramiento de estos tiempos. Finalmente se observa cómo mejoran los cortes en tiempo prefiltrado, figura 14 y luego del post-filtrado con la deconvolución Fxy, figura 15.

## Conclusiones

Como se aprecia en este trabajo, la práctica de ordenar los datos en COV resulta útil para la aplicación de técnicas de reducción de ruido antes de suma.

Con la aplicación de Fxy en COV, los datos sísmicos quedan entonces bien acondicionados para la migración PSTM. Con los COV filtrados, se obtendrán *gathers* migrados más aptos para ser utilizados, por ejemplo, en el cálculo de atributos *pre-stack*.

El límite de la técnica utilizada en este trabajo está dado por la geometría de registración y la posibilidad de utilizar una "geometría teórica" que no se aparte en forma excesiva de las coordenadas reales, mereciendo un estudio particular los casos de geometrías irregulares.

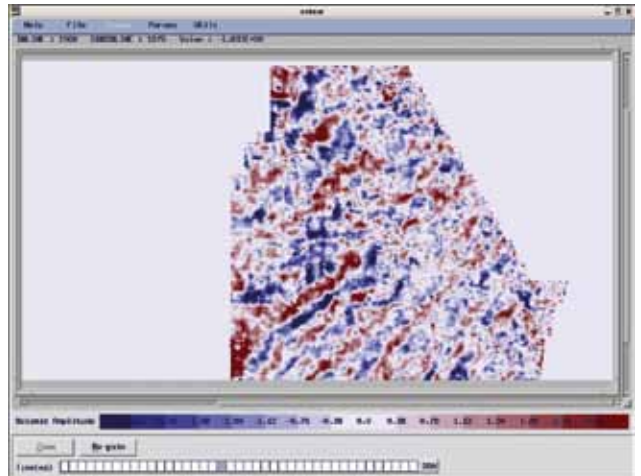


Figura 15. *Timeslice con FXY pre-stack.*

## Agradecimientos

A los geofísicos de GeoPark Mario Vila, Verónica Martínez, Sebastián Blanco y Ricardo Rebollo por haber apoyado desde un principio la realización de este trabajo. A las empresas GeoPark, Pluspetrol, Wintershall, Methanex e IFC que conforman los consorcios de los bloques El Tranquilo y Otway, por haber autorizado la publicación de este trabajo. ■

## Bibliografía

- Roizman, Marcelo D.: "Fxy Cross-Spread en el filtrado de ruido aleatorio y la relación con las amplitudes sísmicas". VI.º Congreso de exploración y desarrollo de hidrocarburos. Mar del Plata, Argentina.
- Veermeer Gijs, J. O.: "3D symmetric sampling", *GEOPHYSICS*, vol. 63, año v, 1998, págs. 1629-1647.