

VSP por Polarización de Onda: Acabando con el Descontento Actual.

A. RIVERA, A.A. TABAKOV.
Geofields Ltda - Bogotá, Colombia.

ABSTRACT

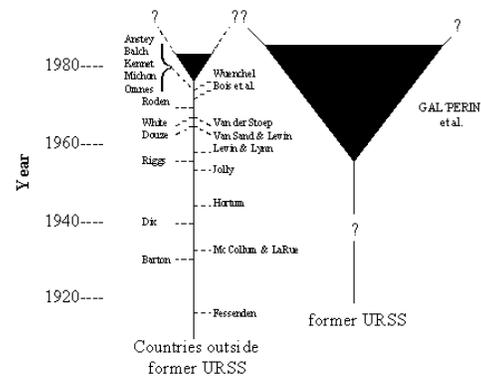
En este artículo se ilustra la novedosa metodología VSP por polarización de onda (o análisis vectorial) diferente a la metodología tradicional, cuyos resultados no han llenado las expectativas en nuestro medio. Esta técnica fue empleada en el reprocesamiento de un VSP 3 Componentes de la compañía BPX Colombia adquirido en el Piedemonte Colombiano. Se muestran resultados comparativos y otros ejemplos. El paquete utilizado fue el UNIVERS VSP para el procesamiento e interpretación conjunta de datos de VSP y logging e integración con la sísmica de superficie.

Las características principales del Método Sísmico de Polarización, que lo diferencian de la metodología tradicional, radica en que se realiza el registro vectorial del campo ondulatorio y se utilizan todos sus parámetros: velocidad, frecuencia y polarización. Los parámetros de polarización que se evalúan son: elipticidad, azimut y ángulo con la vertical. Simultáneamente se estudian todos los tipos de onda (P, S, PS, etc). Por lo anterior, la evaluación de las propiedades dinámicas del medio con este método es más confiable, ya que se realiza no sólo para una componente, sino para el vector total, lo que es de extrema importancia en el procesamiento de los "Offset VSP", así como en el análisis de modelos de capas buzantes y rugosas. Esta metodología permite la identificación y extracción de los diferentes tipos de onda a través de la determinación de su componente principal, lo que permite maximizar la relación señal/ruido y obtener información con contenido frecuencial alto (100 Hz – 250 Hz).

INTRODUCCIÓN

Una herramienta tan poderosa como es el VSP (Vertical Seismic Profiling o Perfilaje Sísmico Vertical), debido a los pobres resultados obtenidos en los últimos años para condiciones geológicas y topográficas tan complejas como son las Cuencas Subandinas, ha perdido credibilidad en nuestro medio. Lo anterior ha estado relacionado con las metodologías utilizadas en el tratamiento de los datos de VSP, así como con la tecnologías utilizadas en la adquisición de los mismos. Como consecuencia de ello se ha llegado a un absurdo: los resultados de un VSP tienen menor resolución que la sísmica de superficie. El método VSP por Polarización de Onda fué desarrollado por E.I Gal'perin en años 70, publicado en idioma ruso en 1977 y conocido en Occidente en los años 80 a través de publicaciones especiales y cursos organizados por la "Society of Exploration

Geophysicist" y otras compañías privadas. La Figura 1 muestra un esquema generalizado del desarrollo del método VSP a través de la historia. El método VSP de Polarización de Onda consiste en la combinación de un conjunto de herramientas tecnológicas (fuente-recepción de ondas) y metodológicas (desarrollo teórico y de software), basados en la utilización de la polarización de las ondas registradas, con el objeto de, no sólo analizar el campo ondulatorio, sino también para obtener información directa del medio.



These two vertical lines provide an approximate chronological picture of the development of Vertical seismic profiling and indicate some principal velopers of the technology. The width of each line indicates the amount of interest focused on VSP. The extensive work in the Soviet Union has not been chronologically studied. Gal'perin's (1974) book contains a comprehensive list of Soviet references.

Figura 1. Desarrollo histórico del método VSP. Tomado de Hardage, B.A, 2000.

FUNDAMENTOS DEL MÉTODO.

Las investigaciones, relacionadas con la polarización de las ondas, por primera vez se aplicaron al VSP, y permitieron la creación del Método Sísmico de Polarización de Onda. Los resultados de trabajos de VSP, realizados en diferentes ambientes geológicos, confirmaron las siguientes circunstancias importantes:

- a) Los explosivos comúnmente utilizados como fuente, no sólo generan ondas longitudinales (P), sino también ondas de corte (S).
- b) La formación, en una misma interfase, de diferentes tipos de onda: monotipos y transformadas, (Figura 2).

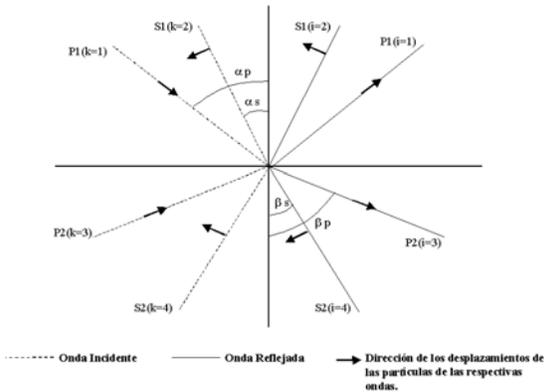


Figura 2. Diagrama de reflexión y refracción en una interfase entre dos capas.

Este par de circunstancias sirvieron de premisas o condiciones básicas para la creación del método de polarización de onda, el cual está basado en el análisis vectorial del campo ondulatorio y en la selección, seguimiento e interpretación conjunta de diferentes tipos de onda.

PRINCIPALES PARTICULARIDADES DEL MÉTODO.

En el método sísmico tradicional las características de la fuente se seleccionan para cada tipo de onda (P ó S) en forma separada, de tal forma que desde los inicios se realiza una selección de cada tipo de onda. Esto reduce sustancialmente la complejidad del campo ondulatorio y aumenta las posibilidades de análisis y seguimiento de los horizontes de interés; sin embargo, automáticamente, se limitan las posibilidades exploratorias al utilizar en cada método un solo tipo de onda (P ó S).

El método de polarización aumenta considerablemente las posibilidades de análisis de campos ondulatorios complejos, a través de la selección de los diferentes tipos de onda de acuerdo con la polarización de éstos en los puntos de recepción, y de esta forma se obvia la necesidad de realizar por separado los métodos para el estudio de las ondas P y S.

En el método de polarización de onda la polarización se utiliza en dos direcciones básicas: para el análisis del campo ondulatorio y para la obtención de información directa del medio. La primera dirección utiliza la polarización de las ondas como un parámetro para la estimación de la frecuencia y de la velocidad, así como para la selección de las mismas. La segunda dirección está relacionada con el estudio de los parámetros de polarización o trayectoria de movimiento de las

partículas del medio, con el objetivo de obtener información adicional del mismo.

ADQUISICIÓN DE DATOS.

La adquisición de los datos de VSP por polarización de onda se caracteriza por la orientación espacial de los geófonos; sin embargo, para VSP de muchos niveles este procedimiento se torna muy costoso. La reorientación en la práctica se realiza por procedimientos matemáticos en la fase de procesamiento.

PROCESAMIENTO DE DATOS.

La Figura 3 muestra en términos generales el flujo empleado para el procesamiento de los datos con el método de polarización de onda (software UNIVERS VSP™ de un VSP de tres componentes para la compañía BPX Colombia y adquirido en el Piedemonte Colombiano.

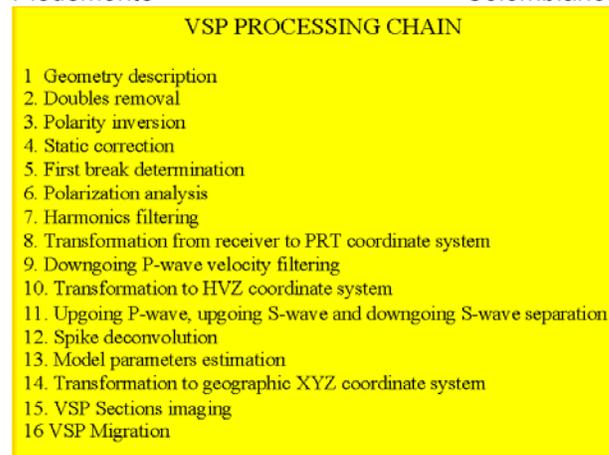


Figura 3. Diagrama de flujo generalizado para el procesamiento de datos de VSP por polarización de onda.

Los pasos 1-5 son similares a los utilizados convencionalmente. La Figura 4 muestra los datos brutos-apilados de entrada de la componente z.

En el paso 6 se realiza el análisis de los parámetros de polarización, los cuales se utilizan para la reorientación matemática de los geófonos. Los parámetros de polarización calculados son: un ángulo (0-90 grados) y un azimut (0-360 grados) del arribo de una ondícula y los parámetros de elipticidad. Adicionalmente se obtienen, la energía de los registros triaxiales para una ventana de cálculo de los parámetros de polarización determinada y el valor principal de la matriz de correlación.

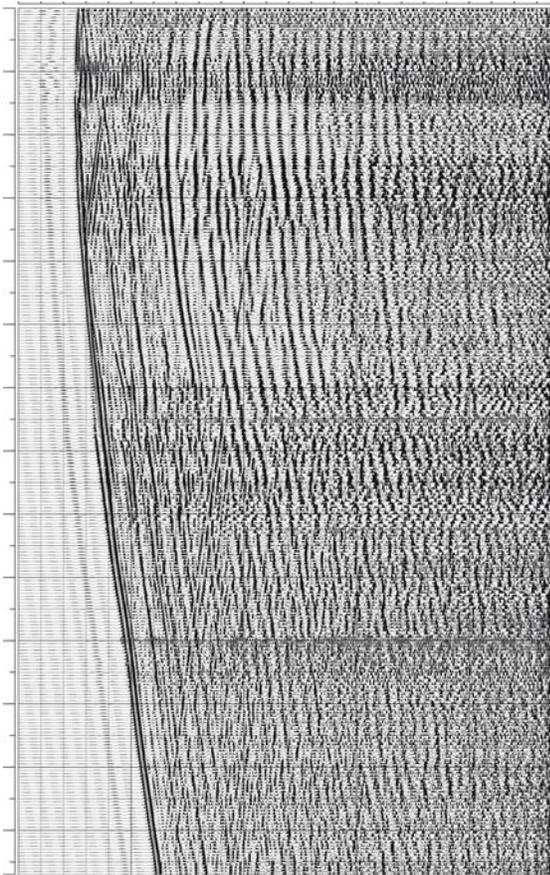


Figura 4. Datos brutos apilados. Componente Z.

En el paso 7 se realiza un filtrado convencional pasabandas.

En el paso 8 se utilizan los parámetros de polarización para la transformación matemática del sistema de coordenadas de los receptores al sistema de coordenadas PRT, en donde: P-eje determinado por la dirección de arribo de una onda DP (“downgoing” P) desde el punto de disparo hasta el receptor (vector principal para el valor principal de la matriz de correlación), R-plano perpendicular al P y que pasa por el punto de disparo y el receptor, T-plano perpendicular a los dos anteriores. Las trazas orientadas en el sistema PRT son utilizadas en la separación de los diferentes tipos de onda (Figuras 5,6 y 7).

La separación de la onda directa DP del campo ondulatorio total se realiza en los datos orientados en P, ya que la componente-P contiene casi toda la energía de la onda directa DP. El filtrado está basado en una combinación de los filtros de velocidad “median” y “POLYCORNTM”. En la primera pasada se aplica el filtro “median” (base de cálculo de 12 geófonos) a lo largo de los primeros arribos para definir el campo “downgoing” (Figura 8), el

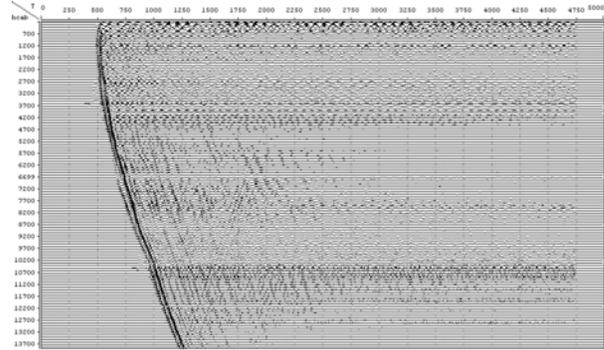


Figura 5. Componente-P.

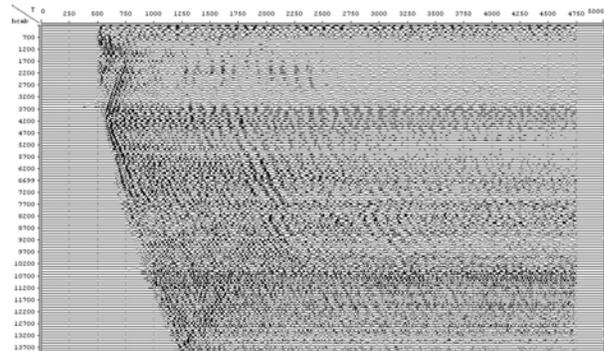


Figura 6. Componente-R.

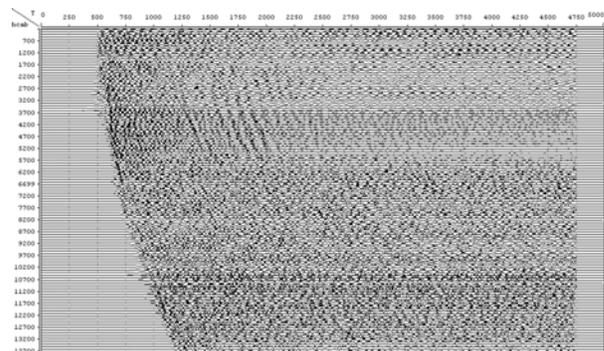


Figura 7. Componente-T.

cual es sustraído posteriormente del campo total (Componente-P).

Los resultados de la primera pasada (Figura 9) son filtrados con el filtro POLYCORNTM (base de cálculo de 12 geófonos) (Figura 10) y los residuos de ambas pasadas son sumados, (Figura 11).

Para una mejor realización de la separación de las ondas “downgoing” y “upgoing” S (DS y US) y de la “upgoing” P (UP) los datos se reorientaron en el sistema HVZ, en donde Z coincide con la vertical, V es ortogonal a Z y yace en un plano vertical definido por el punto disparo y el receptor; H es ortogonal a Z y V. El procedimiento de filtrado es el mismo que se empleó para separar la onda DP.

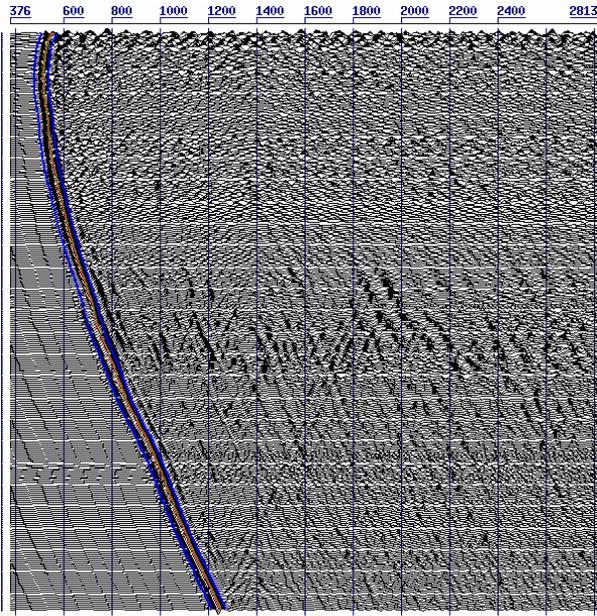


Figura 8. Primeros arribos de la onda DP. Componente-P.

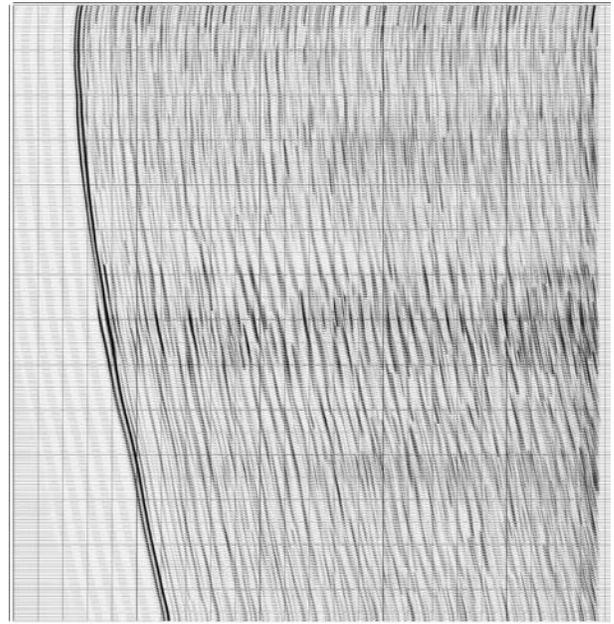


Figura 10. Resultados del filtrado "POLYCOR" de la onda DP. Componente-P.

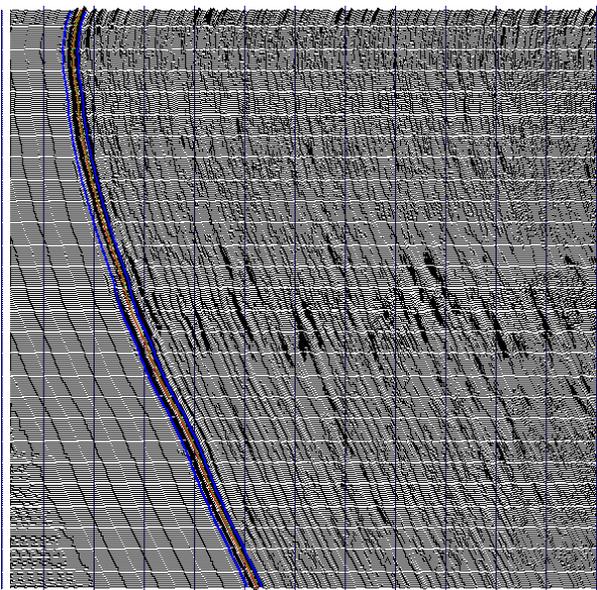


Figura 9. Resultados del filtrado "median" de la onda DP. Componente-P.

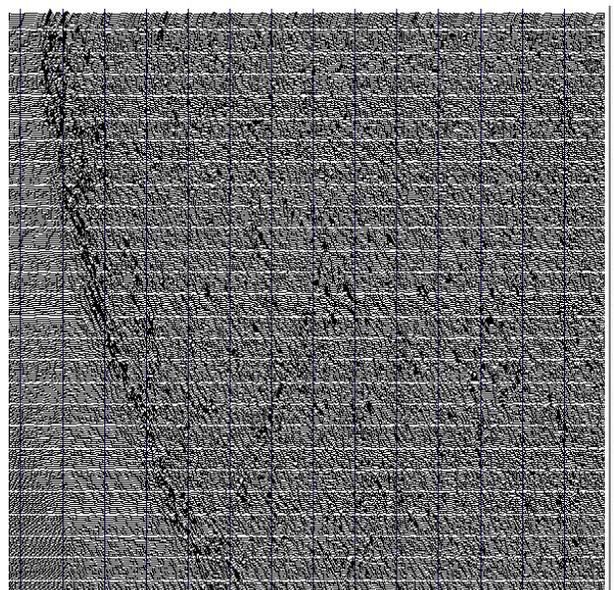


Figura 11. Suma de los residuos del filtrado de la onda DP. Componente-P.

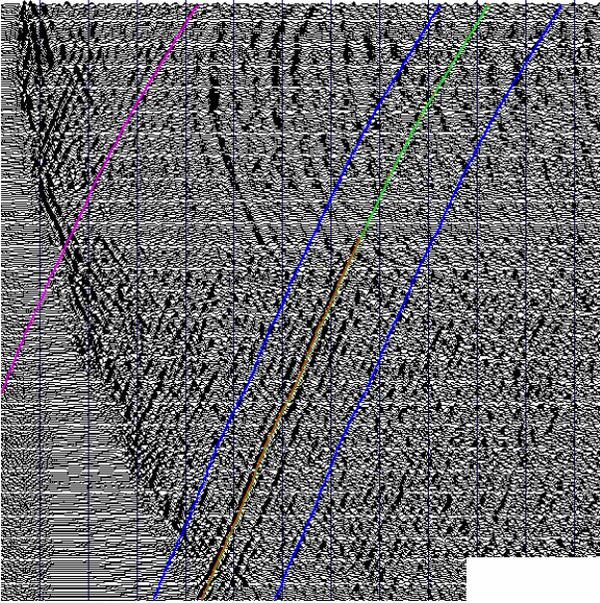


Figura 12. Hodógrafo de la onda UP y ventanas de correlación.

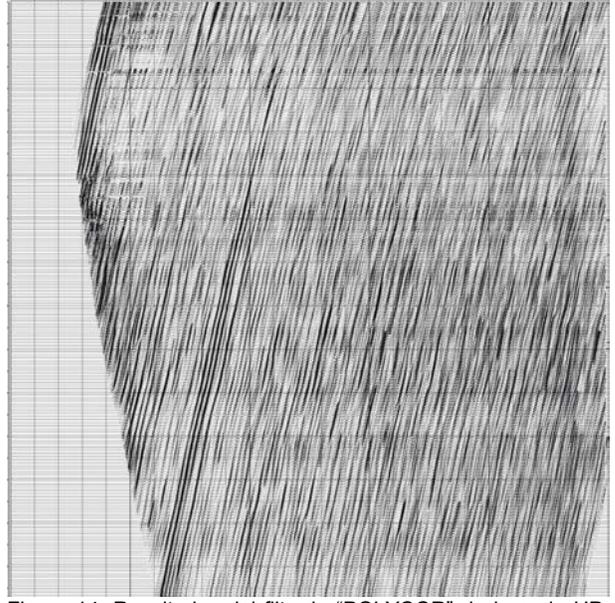


Figura 14. Resultados del filtrado "POLYCOR" de la onda UP. Componente-Z.

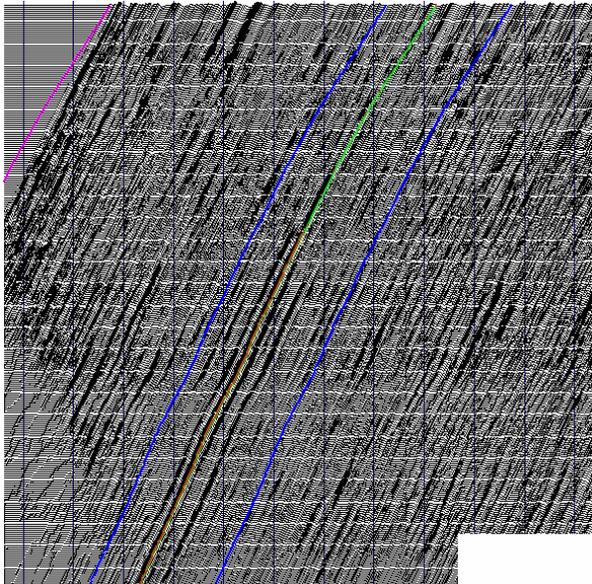


Figura 13. Resultados del filtrado "median" de la onda UP. Componente-Z.

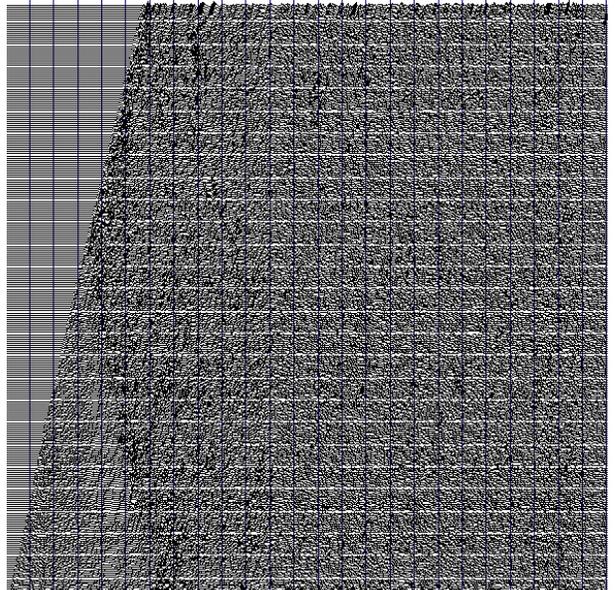


Figura 15. Suma de los residuos del filtrado de la onda UP. Componente-Z.

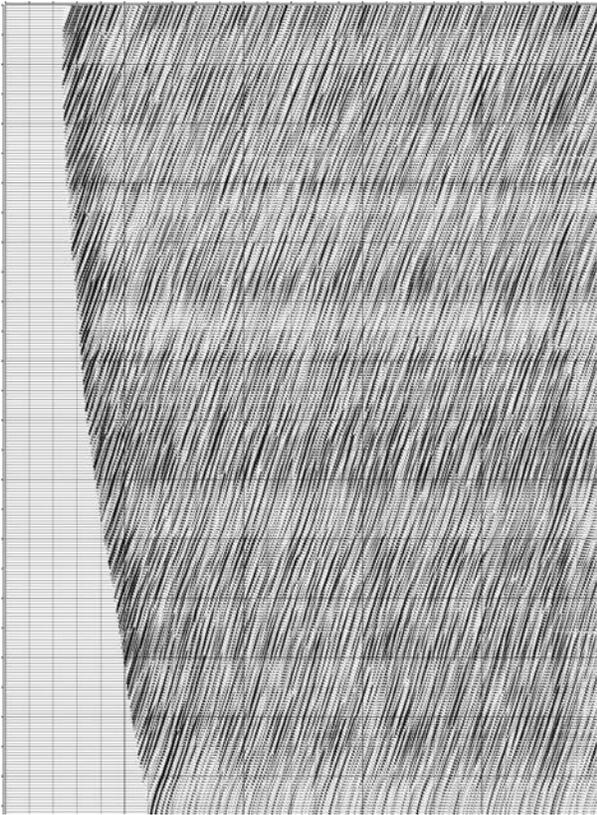


Figura 16. Resultados del filtrado "POLYCOR" de la onda US. Componente-H.

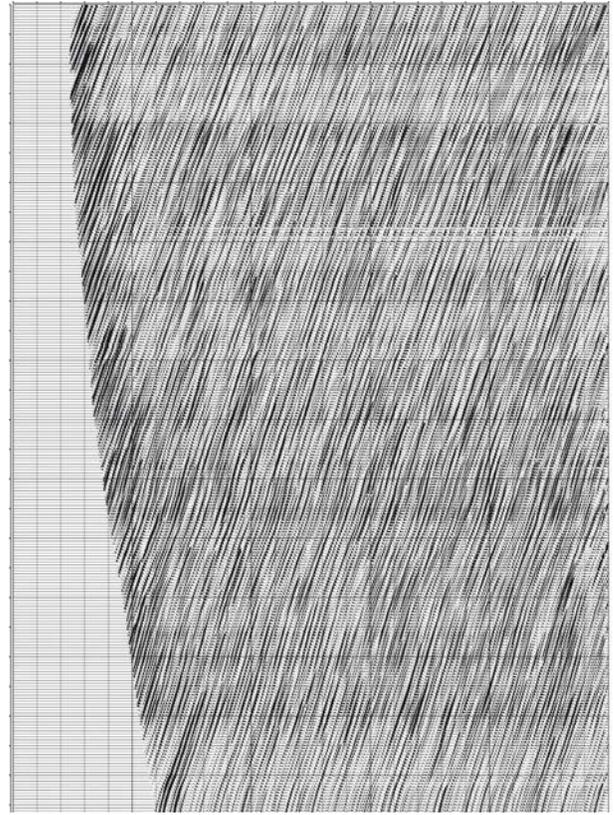


Figura 18. Resultados del filtrado "POLYCOR" de la onda US. Componente-Z.



Figura 17. Resultados del filtrado "POLYCOR" de la onda US. Componente-V.

La dirección para la aplicación de los filtros "median" y POLYCOR™ fue calculada como resultado del picado de los hodógrafos de las ondas y por medio de procedimientos de correlación a lo largo de las direcciones picadas. La base de cálculo fueron 24-para el filtro "median" y 12-para el filtro POLYCOR™, (Figuras 12-15).

Las Figuras 16-18 muestran las ondas US Componente-H, US Componente-V y US Componente-Z, obtenidas por medio del procedimiento similar al ya utilizado para las ondas DP Componente-P y UP Componente-Z

Habiendo separado los diferentes tipos de onda se aplica una deconvolución tipo "spike" con el objeto de obtener una señal fase-cero positiva,(Figura 20).

Ya a este nivel del procesamiento se observa la diferencia entre los datos procesados originalmente y los reprocesados con la metodología de polarización de onda, (Figuras 19 y 20). Se observa la efectividad de la metodología en la selección de los diferentes tipos de onda, así como el mejoramiento significativo de la continuidad de los eventos sísmicos y el contenido frecuencial.

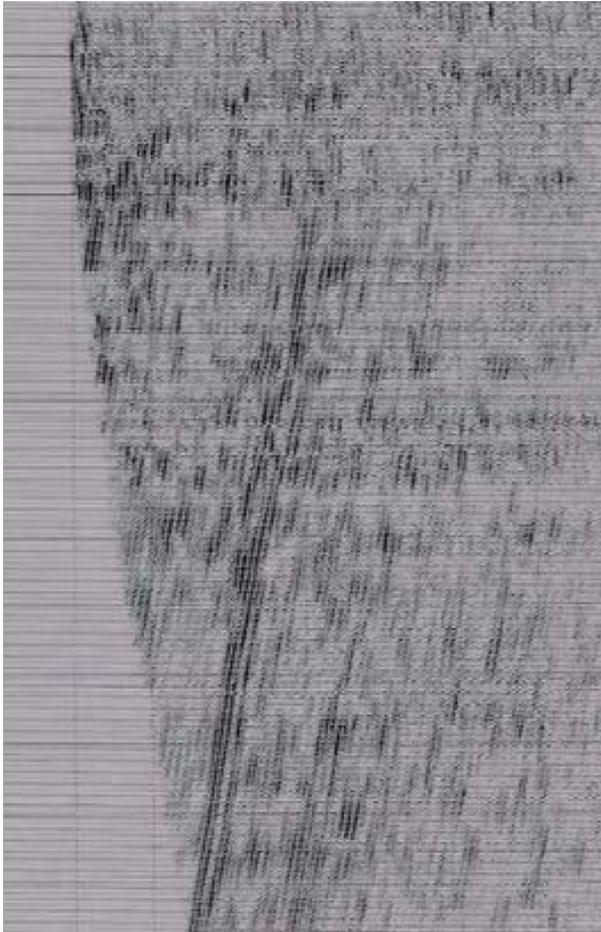


Figura 19. Datos originalmente procesados. Deconvolución tipo spike.

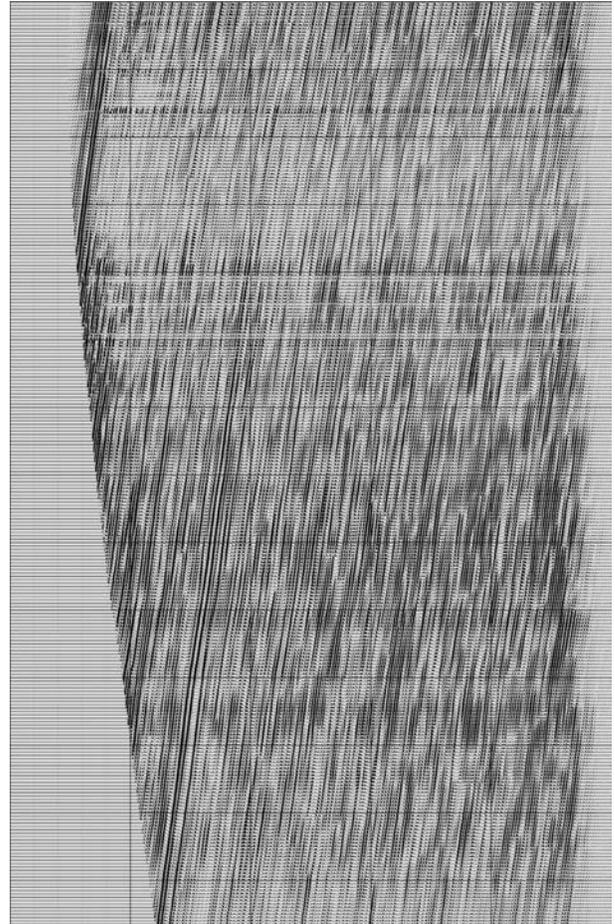


Figura 20. Datos reprocesados con el método de polarización de onda. Deconvolución tipo spike.

El siguiente paso consiste en la construcción de un modelo tridimensional del medio, a través de un procedimiento iterativo de optimización entre los primeros arribos de datos de "Check Shot" y datos del "Offset VSP".

Para la construcción del modelo 3D se necesita:

- Un modelo 1D a priori, en el cual el hodógrafo de los primeros arribos deben coincidir lo mejor posible con el hodógrafo los primeros arribos del VSP real, (Figura 21).
- Los extremos del modelo, conformado por bloques de superficies planas con cualquier inclinación.
- Parámetros geofísicos de los bloques: V_p , V_s , densidad, coeficientes de absorción de las ondas P y S, coeficientes de anisotropía de las ondas P y S.

Este modelo también es alimentado con toda la información de registros de pozos disponibles. Una se tiene un modelo 3D y habiendo calculado los parámetros de polarización se pueden determinar los ángulos de inclinación y azimuts de

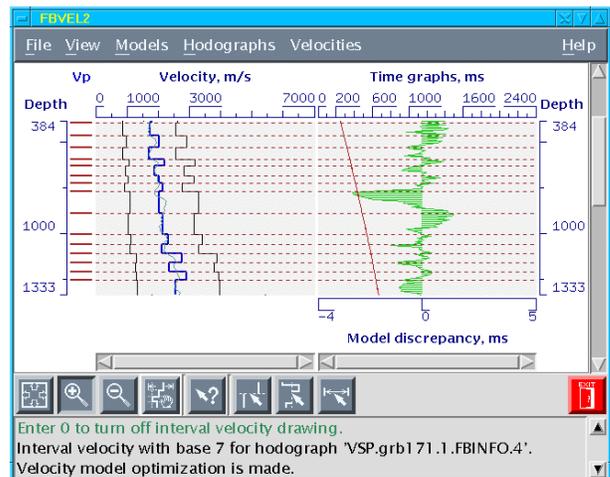


Figura 21. Modelamiento cinemático a priori.

las interfases.

Con el objetivo de transformar los datos del VSP en el dominio del CDP se realiza una nueva transformación de coordenadas al sistema geográfico XYZ.

Para la obtención de una imagen sísmica en el dominio del CDP se utiliza el modelo a priori 3D y las ondas reflejadas UP y US. Este procedimiento se realiza en tres pasos:

- Modelamiento tridimensional del campo ondulatorio, para el cual es necesario la utilización del modelo 3D a priori, la geometría de la adquisición del VSP y las características de la fuente.
- Transformación Tiempo-Espacio,
- Apilado.

En esta fase de procesamiento UNIVERS VSP™ permite la obtención de:

- Proyección en planta de los puntos de reflexión en las interfases del modelo 3D, (Figura 22)
- Selección del área para el modelamiento tridimensional del campo ondulatorio (Figura 23) y obtención de una imagen sísmica en la vertical en el dominio del CDP, (Figura 24).

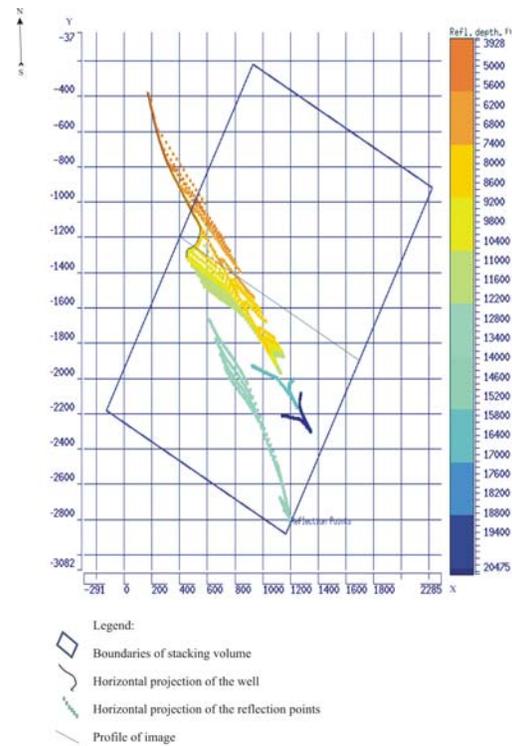


Figura 23. Selección de un área para el modelamiento 3D de las ondas UP.

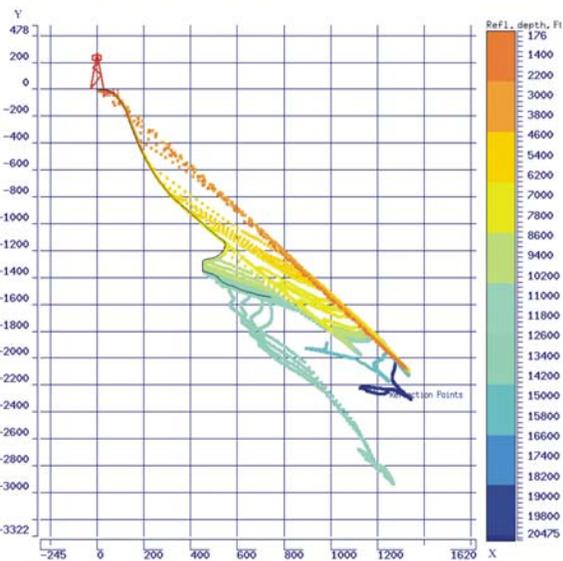
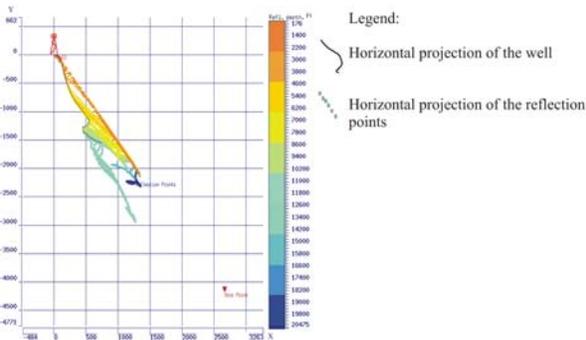


Figura 22. Proyección en planta de los puntos de reflexión de la onda UP.

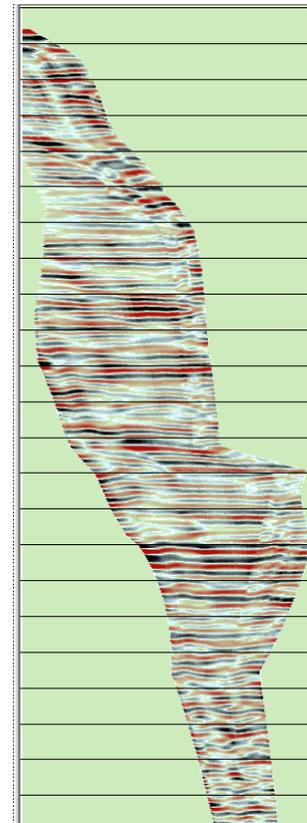


Figura 24. Imagen sísmica en tiempo de la onda UP en el dominio del CDP.

La imagen sísmica, tanto en tiempo como en profundidad se obtiene para las ondas UP y US.

El último paso consistió en migrar los datos y correlacionarlos con la sísmica 2D y 3D existente en el área, (Figura 25)

El software UNIVERS VSP™ permite la realización de la migración tanto pre-apilado, como post-apilado. La migración es vectorial, (Figuras 26-27).

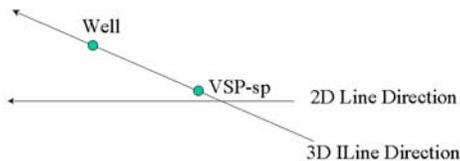


Figura 25. Esquema de ubicación de la sísmica de superficie vs VSP.

Análisis de resultados:

La Figura 30 muestra una comparación final entre los resultados del procesamiento original y el obtenido con la utilización de la metodología de polarización de onda. Se observa con claridad la

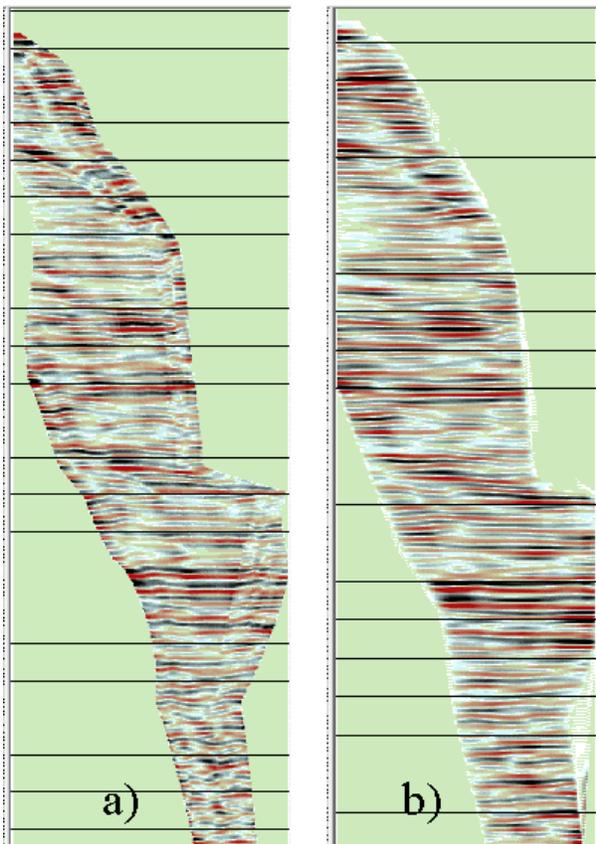


Figura 26. VSP sin migrar (a) y migrado (b).

diferencia en contenido frecuencial y en la definición de los horizontes de interés exploratorio, así como detalles estratigráficos y estructurales.

CONCLUSIONES

1.El procesamiento de VSP de 3 componentes con el método de polarización de onda permite obtener una mejor imagen sísmica no solo alrededor del pozo, sino por debajo del mismo: mejor contenido frecuencial, mejor seguimiento de los eventos sísmicos y resalta particularidades estratigráficas.

2. La capacidad de la metodología y software utilizados permite el procesamiento integral tanto de las ondas P, como de las S, lo que a su vez se traduce en la posibilidad de determinar las propiedades del medio.

3. Conociendo los parámetros de polarización de las ondas “downgoing” y “upgoing” se pueden obtener los ángulos de inclinación y el azimut de las interfases.

4.El reprocesamiento con el método de polarización de onda de VSP adquiridos en años anteriores garantizara una mejor resolución en los resultados.

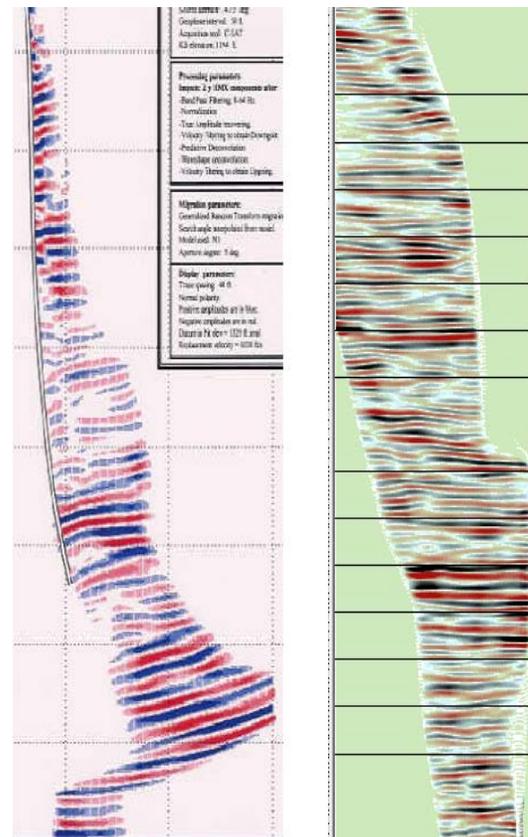


Figura 27. VSP original migrado a) y VSP migrado reprocesado con el método de polarización de onda.

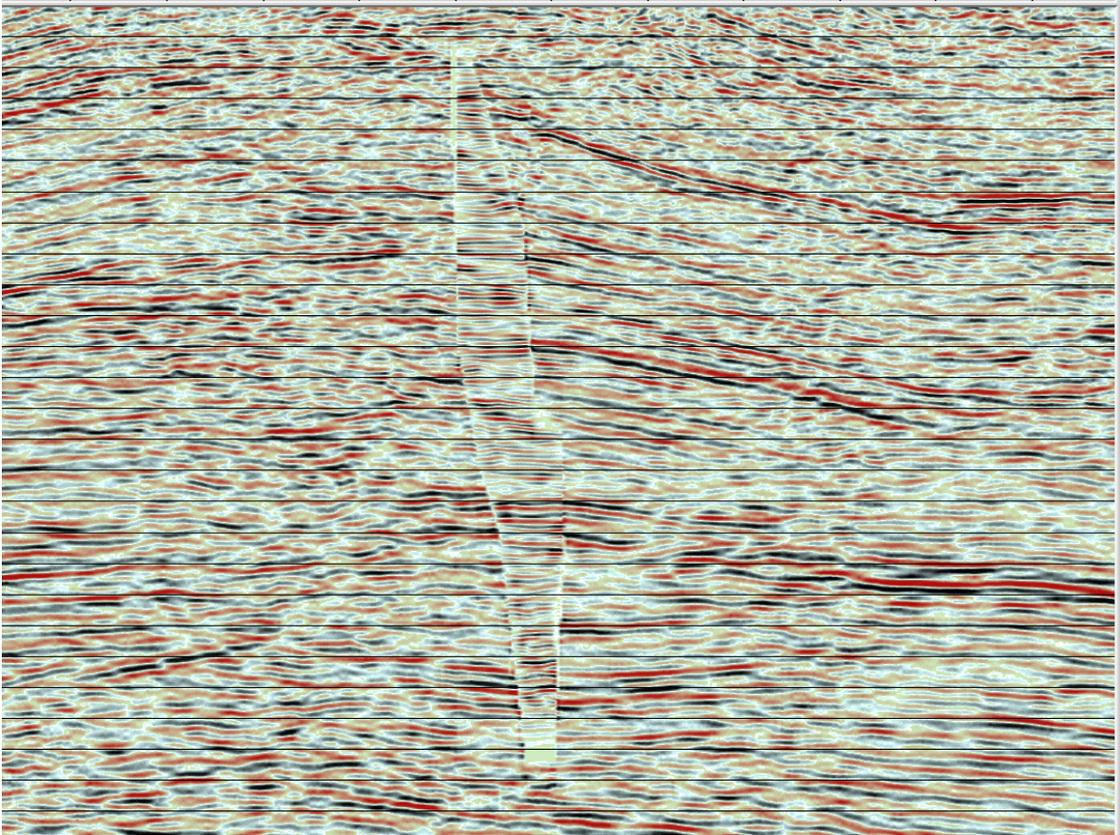


Figura 28. Correlación del VSP, onda UP, con la sísmica 2D.

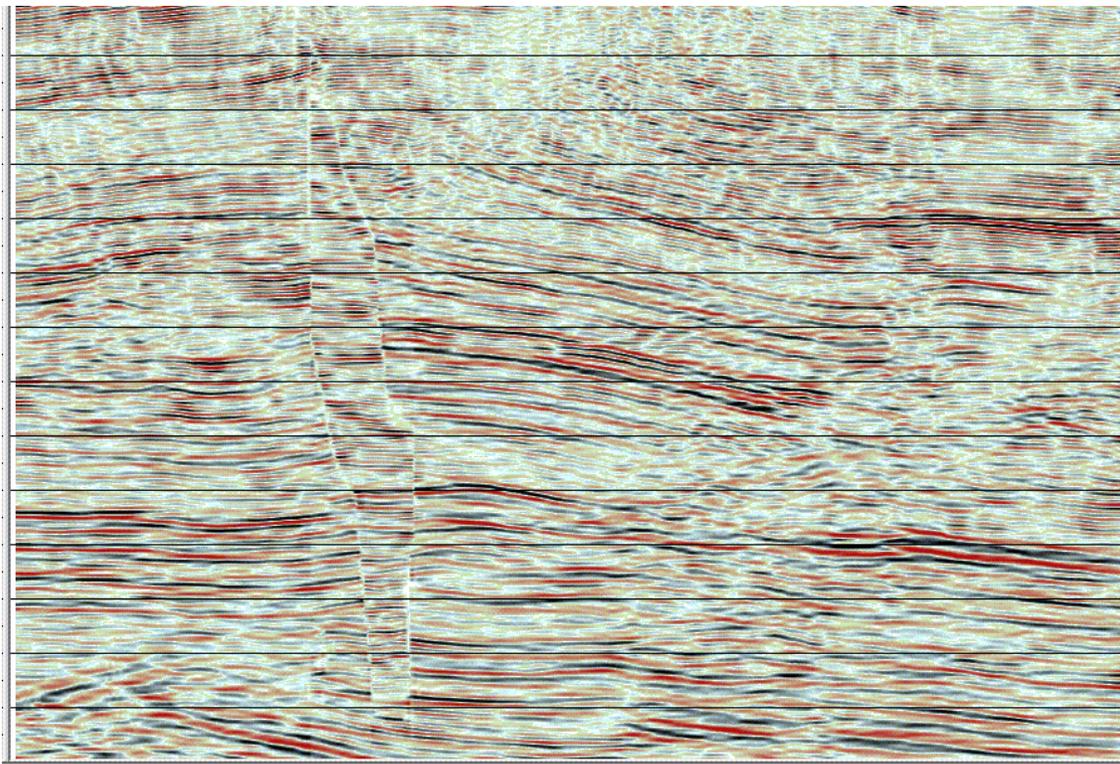


Figura 29. Correlación del VSP, onda UP, con la sísmica 3D.

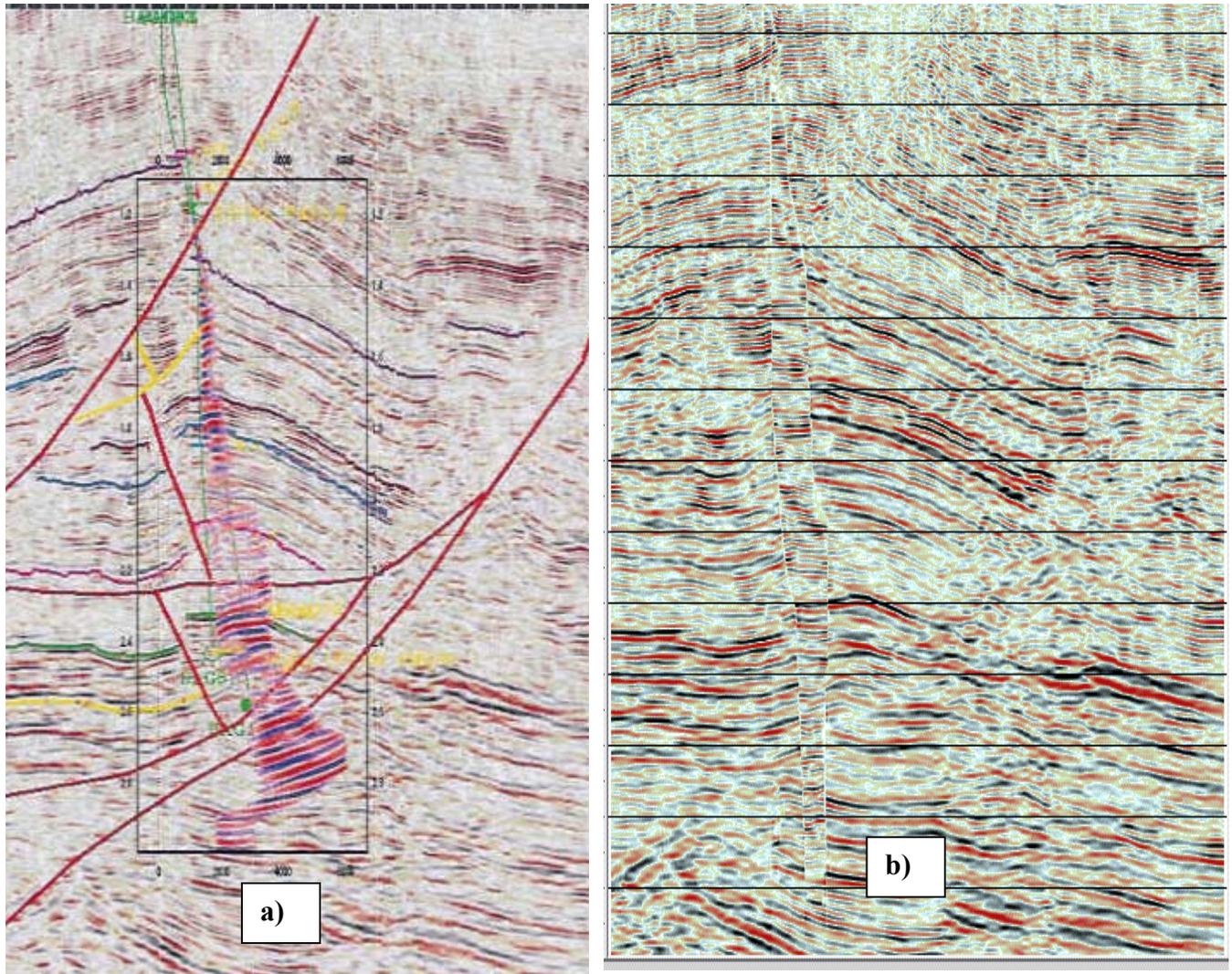


Figura 30. Correlación del VSP, onda UP, con la sísmica 3D. A) Procesamiento Original. B) Reprocesamiento con el metodo de polarizacion de onda.

BIBLIOGRAFÍA

Gal'perin, E.I., 1982, *Vertikalnoe Seismicheskoe Profilirobanie*. Nedra.

Hardage, B.A., 2000, *Vertical Seismic Profiling: Principles*. Handbook of Geophysical Exploration.

Balch, A.H., Myung, W.L., 1984, *Vertical Seismic Profiling: Technique, Applications, and Case Histories*. International Human Resources Development Corporation.