

Altísima resolución en datos 3D para monitoreo sísmico (4D)

Elías Z. Ata, Mariangela Capello de P.* y Javier Pérez.

PDVSA

Resumen

El objetivo de este trabajo es presentar los resultados obtenidos en el procesamiento de los datos del 3D base del monitoreo sísmico (4D) del Bloque W6 del Campo Lagunillas. La finalidad de este monitoreo es seguir el frente de vapor de una Inyección Continua de Vapor programada para aumentar el factor de recobro en un área piloto. Debido a la alta heterogeneidad del yacimiento a estudiar, la sísmica 3D de superficie fue diseñada para obtener la máxima resolución vertical y lateral posible.

Al aplicar procesos que utilizan datos provenientes de receptores enterrados a 30 m se obtuvo una alta frecuencia inusual, de 10 Hz a 400 Hz en el volumen sísmico grabado con receptores convencionales en superficie.

La gran cantidad de instalaciones de superficie representó una importante fuente de ruido coherente en el área, que se pudo atenuar eficientemente con el procesamiento realizado sin afectar la calidad de los datos. Otro resultado importante es que la metodología de adquisición y procesamiento seguidas permitieron la cuantificación de la repetibilidad de la adquisición de datos a intervalos reducidos de tiempo (8 días), con el uso de receptores enterrados y posicionados en superficie. Estos resultados representan un hito importante en la optimización de los datos y procedimientos a seguir para proyectos de monitoreo sísmico (4D).



Summary

The objective of the work is to monitor a Continuous Steam Injection (CSI) planned for the lower units of a complex fluvial unconsolidated sand, heavy oil (11 API) reservoir, with seismic methods. Feasibility studies have determined that a CSI in this pilot area is economically rewarding when the steam is monitored and controlled. The best patterns for injection and the most effective method of monitoring would be then selected and extended to the full field area of approximately 300 km².

Another objective is to present an unusually high resolution 3D seismic base survey that has been conducted up to date in W6. Due to the highly heterogeneous sands objective of the study, surface seismic was designed to have the best data quality in an area entangled by surface and subsurface installations. In order to overcome noise problems, not interfere with routine field production, and minimize the cost of repeating future 3D surveys, a subset of 3D buried multicomponent receivers was deployed in the center of the surface 3D survey. Combining the surface and buried geophones in processing, frequency contents on the order of 300-400 Hz could be encountered in the data.

In addition, repeatability errors were minor and more quantitative on buried than surface geophones regarding positioning and coupling effects.

Introducción

Los datos sísmicos pueden ser utilizados como una herramienta eficiente para el monitoreo de una Inyección Continua de Vapor (ICV), de crudo pesado donde se ha realizado una recuperación secundaria por combustión (Greaves and Fulps, 1989). Sin embargo, el monitoreo sísmico debe ser aplicado en cada caso atendiendo a las particularidades del proceso a monitorear y las condiciones intrínsecas del área a estudiar. Los datos sísmicos deben tener muy alta calidad y estar bien controlados y calibrados para garantizar que los resultados se puedan interpretar con alto grado de confiabilidad.



Como parte de los estudios de factibilidad para el monitoreo sísmico de la ICV planteada para W6, se estableció una completa base de datos de mediciones de física de rocas que estimaron las variaciones de velocidad sísmica inherentes al proceso de inyección en un 30 % (Capello *et al.*, 1998). También, el impacto económico de monitorear esta inyección formó parte de la factibilidad y se estimó en 25 millones de barriles a ser recuperados en el área

piloto, que es de unos 3 km², por lo que el impacto económico de la extensión de esta técnica a escala de campo completo es muy atractivo.

Los resultados del simulador de yacimientos para el proyecto indica que sólo con un intervalo mínimo de seis meses se producirán cambios notables en las propiedades del yacimiento que puedan afectar de manera medible la respuesta sísmica. En la Figura 1 se muestra un resultado de la prueba de repetibilidad usando los receptores permanentes versus geófonos en la superficie, en ella se puede observar los niveles de ruido entre cada elemento. Las trazas están agrupadas en geófonos de cuatro elementos donde las primeras tres corresponden a las tres componente de los receptores enterrados y la siguiente corresponde a un receptor posicionado sobre la superficie. El nivel de ruido entre ambos puede ser superior en rangos que van entre 500% y 1000%, cuando se comparan los receptores enterrados y en superficie. En este caso la presencia de este ruido aleatorio puede ser el motivo principal de la existencia de anomalías o diferencias entre los datos. En consecuencia, la presencia de ruido es mayor en los receptores posicionados en la superficie, que sobre los receptores enterrados. Otro análisis de repetibilidad se hizo con dos *swaths* del levantamiento con un periodo de tiempo de repetición muy corto (8 días). Los principales efectos observados entre ambos *swaths* fueron la presencia de una energía residual proveniente de las ondas de superficie que se puede observar en todos los datos de campo, Figura 2.

Diseño de los parámetros de adquisición.

El área piloto donde se efectuó la adquisición del 3D base, está caracterizado por la presencia de abundantes instalaciones petroleras, tanto en superficie como enterradas, como la planta generadora de vapor para todo el Campo Lagunillas ubicada justamente en W6, planta eléctrica, balancines, tuberías, planta de almacenamiento, estación de flujo y áreas residenciales. Para caracterizar el ruido coherente generado por estas instalaciones, se procedió a diseñar una prueba de ruido muy completa, que permitiera caracterizar dicho ruido y estimar si fuera necesario detener alguna de estas instalaciones durante el período de adquisición de datos.

Los análisis efectuados sobre la prueba de ruido, muestran en primera instancia, que el ruido generado por la planta inyectora de vapor, los balancines, tuberías y las plantas de flujo, que representan las mayores fuentes de ruido en la zona, no afectan mucho la calidad de los datos obtenidos en el levantamiento, y que los mismos pueden ser minimizados eficientemente en el procesamiento de los datos.

En segundo lugar se determinó que los datos obtenidos son de excelente calidad, por lo que técnicamente es factible grabar información con un espectro de frecuencia de hasta 200 Hz, lo que implica que teóricamente la resolución de los datos permitirá determinar espesores de hasta 5 m, para velocidades de onda entre 1800 m/s y 2200 m/s.

Adicionalmente se observó que el uso de un arreglo areal cruzado (16m x 16m) de igual dimensión tanto en sentido Norte-Sur como Este-Oeste, ayudará a atenuar el *Ground-roll* y los ruidos ambientales y aleatorios. Por último se logró precisar que el tamaño del *bin* adecuado para evitar colocar los datos bajo *aliasing* era de 8 m x 8 m. Por otro lado, se decidió usar una geometría de adquisición con patrón de disparo tipo pared de ladrillo, con la que se obtuvo una buena distribución de *offset* y acimutes a lo largo de todo el levantamiento. Se usó cargas explosivas de 280 g a 15 m de profundidad.

Para realizar en el futuro otros levantamientos 3D más económicas y menos propensos a ser afectados por las diferentes fuentes de ruido, así como obtener información de las ondas S, se decidió adquirir un subvolumen de datos utilizando receptores enterrados multicomponente, los cuales formaron una matriz de 16 elementos localizados a una profundidad de 30 m, con una separación entre ellos de 196 m, los cuales se utilizaron para realizar una comparación de calidad con el levantamiento 3D base usando técnicas convencionales.

Extracción de la ondícula y procesamiento de los datos sísmicos.

Al analizar los datos de campo, se pudo observar que la señal proveniente de los receptores enterrados tenía un alto contenido de frecuencia en comparación con los datos de receptores en la superficie. Esta característica de los datos permitió obtener una ondícula de alta resolución de los receptores enterrados para deconvolucionarla con los datos del volumen 3D obtenido con los receptores en superficie (convencional). El análisis espectral de los receptores tanto en la superficie como enterrados se puede observar en las figuras 3 y 4 respectivamente. En la figura 4 se puede observar que existe una atenuación de las frecuencias bajas del espectro de frecuencia debido a una interferencia denominada *ghost*. Luego de manipular los datos de los receptores enterrados para eliminar el efecto mencionado, se procedió a obtener de éstos una ondícula que se aplicaría en la deconvolución de los datos del 3D base. El espectro de frecuencia de esta ondícula se muestra en la figura 5, donde se puede observar un rango de frecuencia que va de

los 10 Hz a los 400 Hz. Los resultados de la deconvolución de la ondícula con el 3D base se muestran en la figura 6, donde se muestra el espectro de frecuencia obtenido después de esta operación.

Es importante observar que en los receptores enterrados las altas frecuencias están respondiendo a desviaciones no mayores de 10 dB con respecto al valor máximo del espectro de frecuencia. En contraste, la respuesta obtenida de los receptores localizados en la superficie tiene una baja frecuencia y atenuación de la misma entre los 200 Hz y 400 Hz con variaciones en la atenuación de hasta 30 dB (Figura 3).

Posteriormente, se tomó la ondícula con procesamiento de los receptores enterrados, se convolucionó con el volumen 3D y se procedió a estimar el contenido de frecuencia y la resolución del resultado para cuantificar así las mejoras obtenidas. Del análisis se puede observar una recuperación de las bajas y altas frecuencias de todas las trazas del levantamiento, obteniéndose frecuencias entre 10 Hz y 400 Hz, tal y como se puede observar en la figura 6. Posteriormente se realizó un procesamiento de los datos hasta obtener un volumen apilado utilizando deconvolución consistente con superficie. Estos estudios se compararon con los resultados obtenidos al utilizar la ondícula extraída de los receptores enterrados. Los resultados de este procesamiento se pueden observar en las figuras 7 y 8. La resolución que se observa en el resultado del procesamiento que usa la ondícula de los receptores enterrados es mucho mayor que la del procesamiento convencional. La diferencia que se observa entre ambos procesamientos no deja lugar a dudas que el uso de información carente de ruido mejora notablemente los datos. Los procesos de calibración e interpretación de los datos sísmicos 3D permitirán determinar de manera fehaciente la eficacia del procesamiento realizado en términos de resolución, cuando los eventos identificados en los datos sísmicos se asocian a paquetes sedimentarios de unos 3 m de espesor.



Conclusiones

Se ha presentado una metodología utilizada para la adquisición y procesamiento de un levantamiento 3D de alta resolución en su etapa inicial, para un proyecto de ICV en el Campo Lagunillas. En este proyecto se adquirió un subvolumen 3D, donde se utilizaron receptores multicomponente localizados por debajo de la capa meteorizada y de los cuales se obtuvo una ondícula que fue usada para deconvolucionar el volumen 3D y obtener así un conjunto de datos con frecuencia entre 10 Hz y 400 Hz.

El uso de los receptores permanentes permitió obtener una mejor cuantificación de los errores en las pruebas de repetibilidad realizadas durante la adquisición. En estos resultados se concluyó que existe un aumento entre el 500% y 1000% en el ruido apreciado en los receptores en superficie en comparación con los receptores enterrados. Adicionalmente el uso de estos receptores enterrados permitieron eliminar los errores en posicionamiento y minimizar los problemas de acoplamiento.

Para los próximos levantamientos 3D se mejorará el espaciamiento entre receptores dentro del subvolumen de datos de forma tal de densificar la matriz de datos que podría contribuir en un ahorro sustancial para la extensión a campo completo de la técnica 4D.

Referencias

Capello Mariangela, y otros., 1998, "Determinación de una estrategia efectiva de monitoreo dinámico de yacimientos: Aplicación en el Campo Lagunillas, Venezuela", III Reservoir Characterization Symposium, Resumen.

Greaves, R., And Fulps, T., 1987, "Three-dimensional seismic monitoring of an enhanced oil recovery process", Geophysics, v. 52, 9, PP 1175-1187.

Agradecimiento

Los autores desean dar las gracias a PDVSA por permitir la publicación de este trabajo. Adicionalmente quieren agradecer la valiosa colaboración prestada por Germán Pérez, así como el valioso apoyo suministrado por Antonio Caldera, Tomas Mata y Edgardo Padrón.



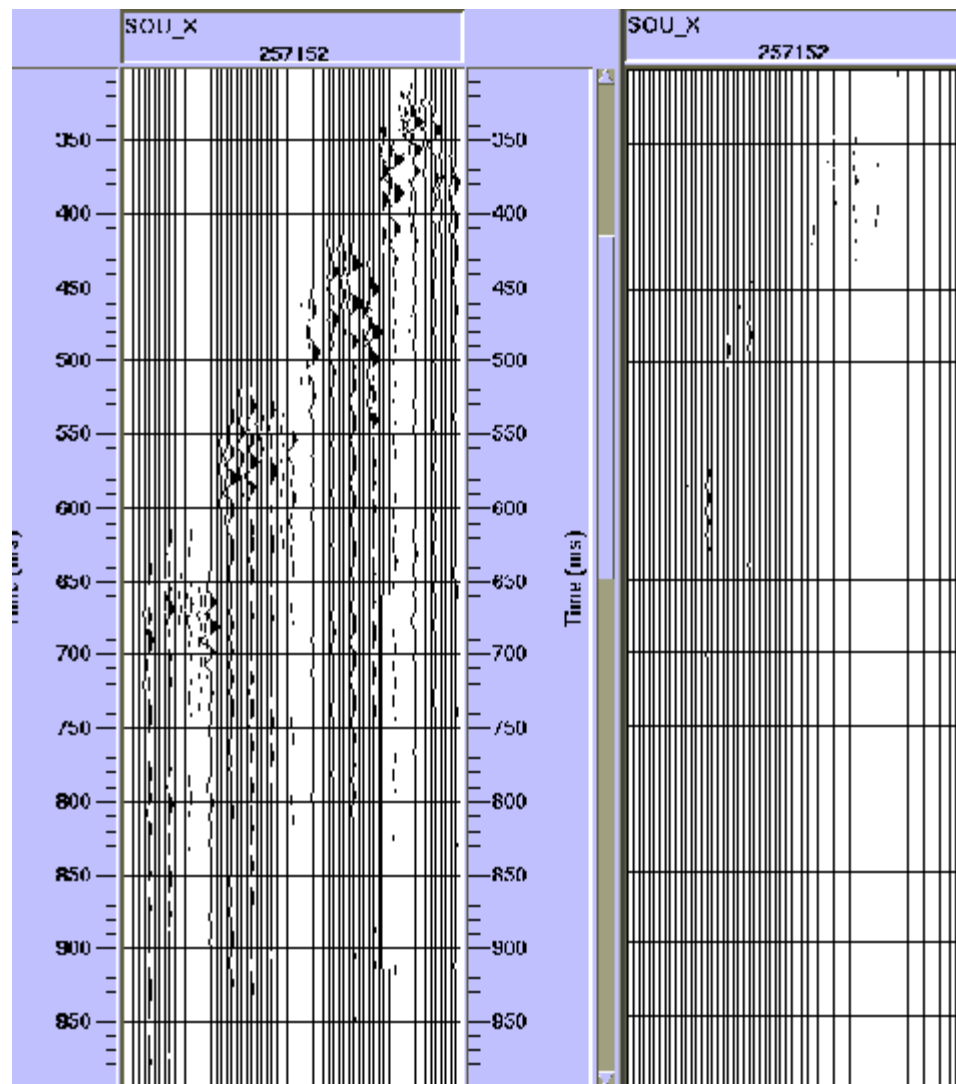


Figura 1: Prueba de repetibilidad usando receptores multicomponente enterrados y en superficie para el levantamiento 3D base. En esta gráfica los receptores están agrupados en secciones de 4 trazas: las tres primeras para los receptores enterrados y la cuarta del receptor correlativo en superficie.

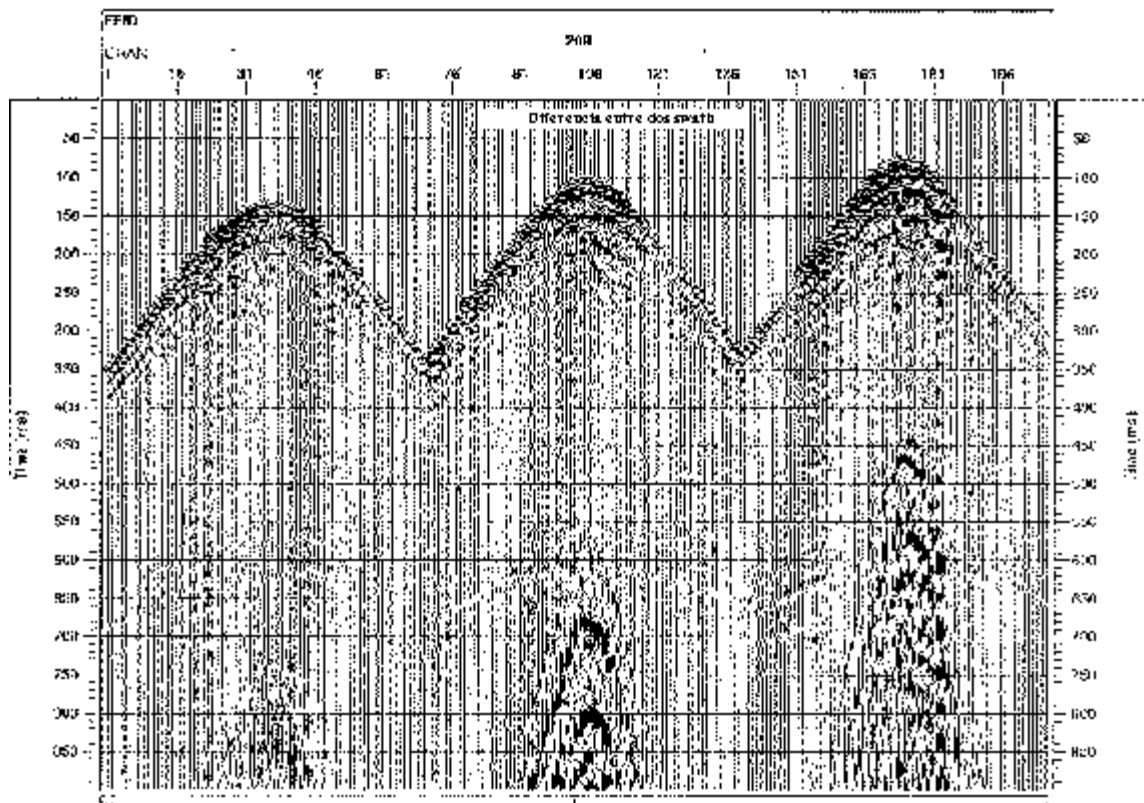


Figura 2: Prueba de repetibilidad para los dos swath adquiridos durante el levantamiento 3D base, usando receptores en superficie.

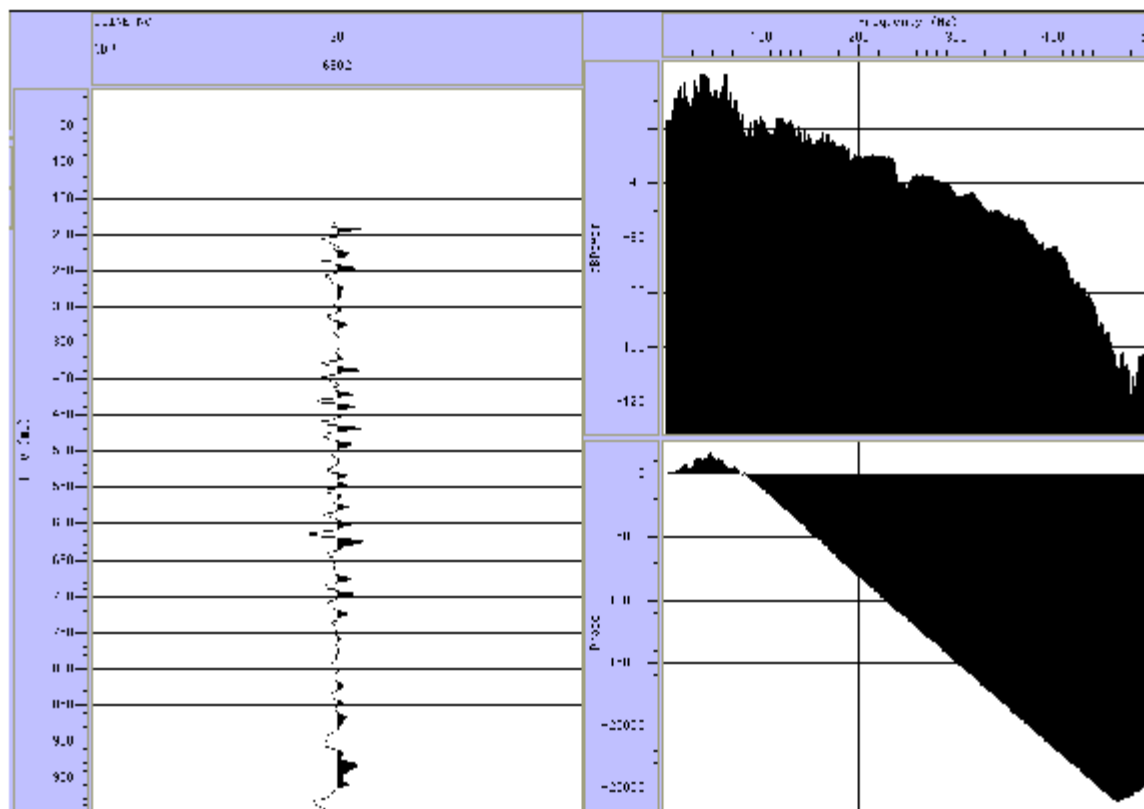


Figura 3: Espectro de frecuencia de la traza correspondiente a un receptor localizado en superficie, en el volumen de datos 3D.



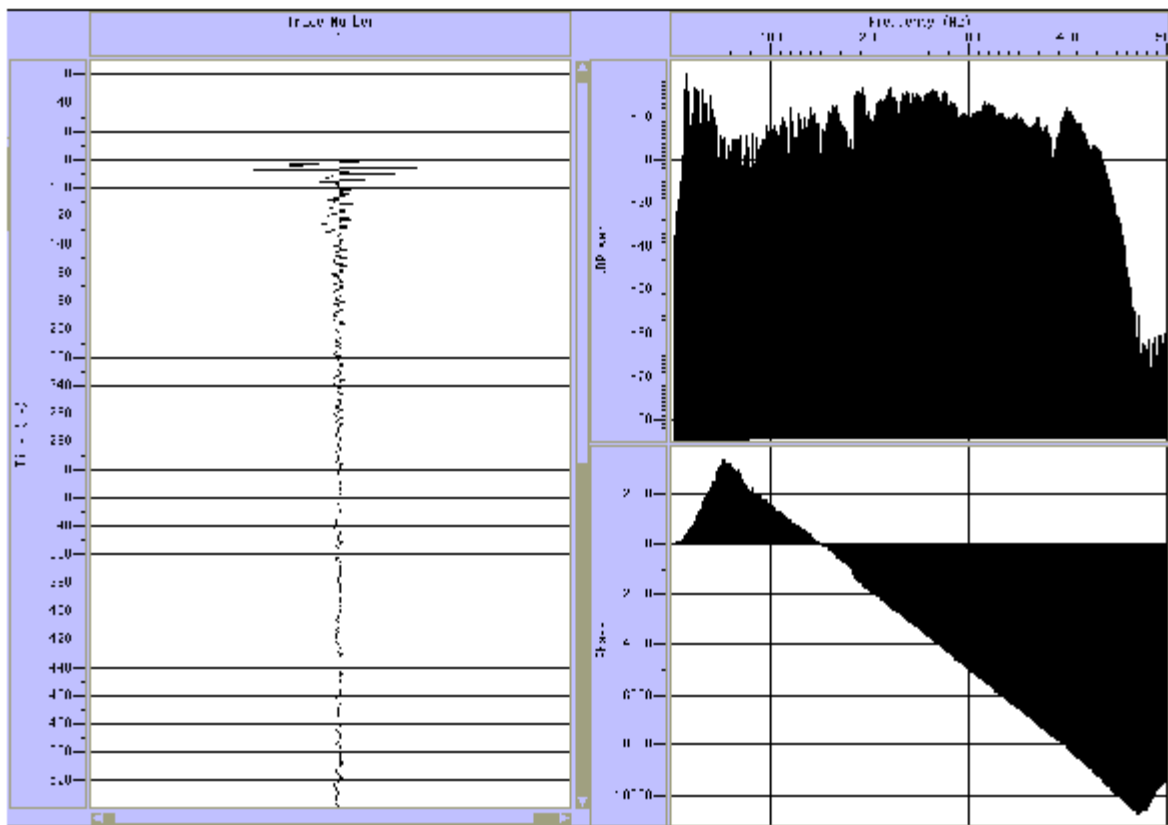


Figura 4: Espectro de frecuencia de la traza correspondiente a los receptores enterrados, del subvolumen de datos 3D multicomponente.

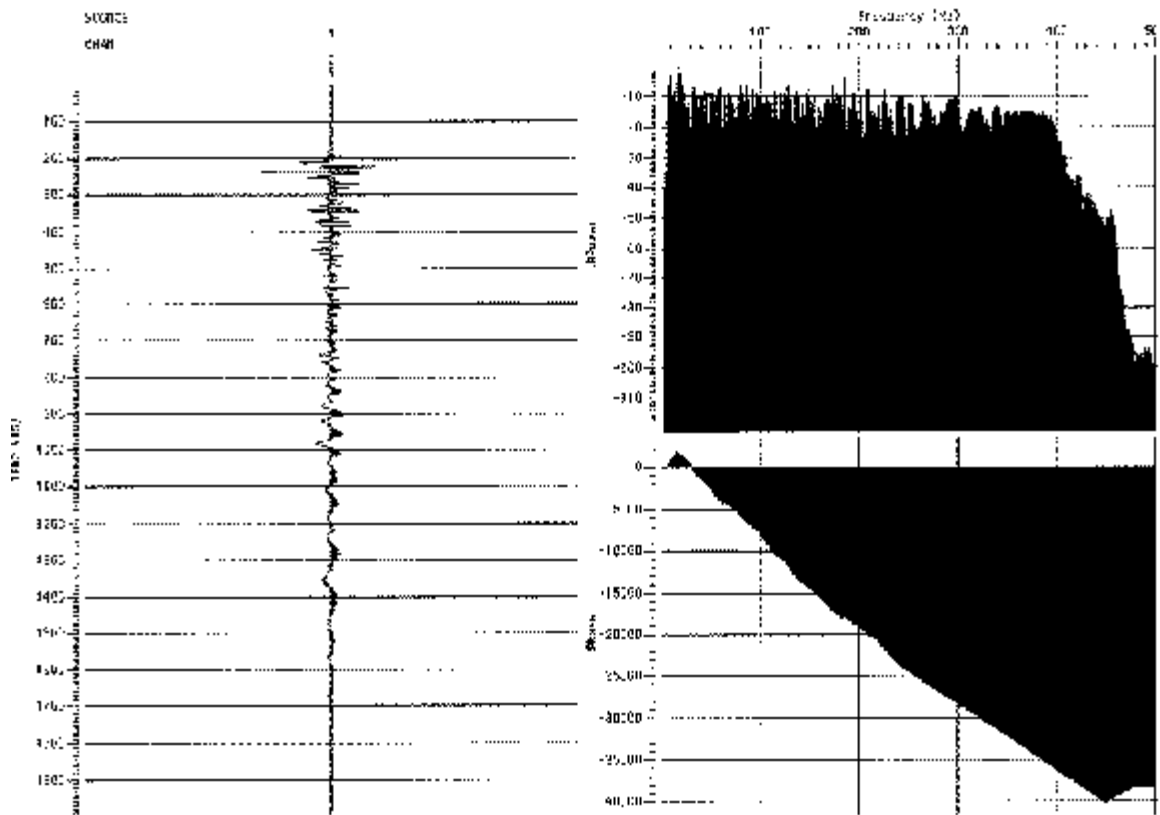


Figura 6: Espectro de frecuencia de los receptores en superficie, obtenido una vez realizada la deconvolución con la ondícula de los receptores permanentes.

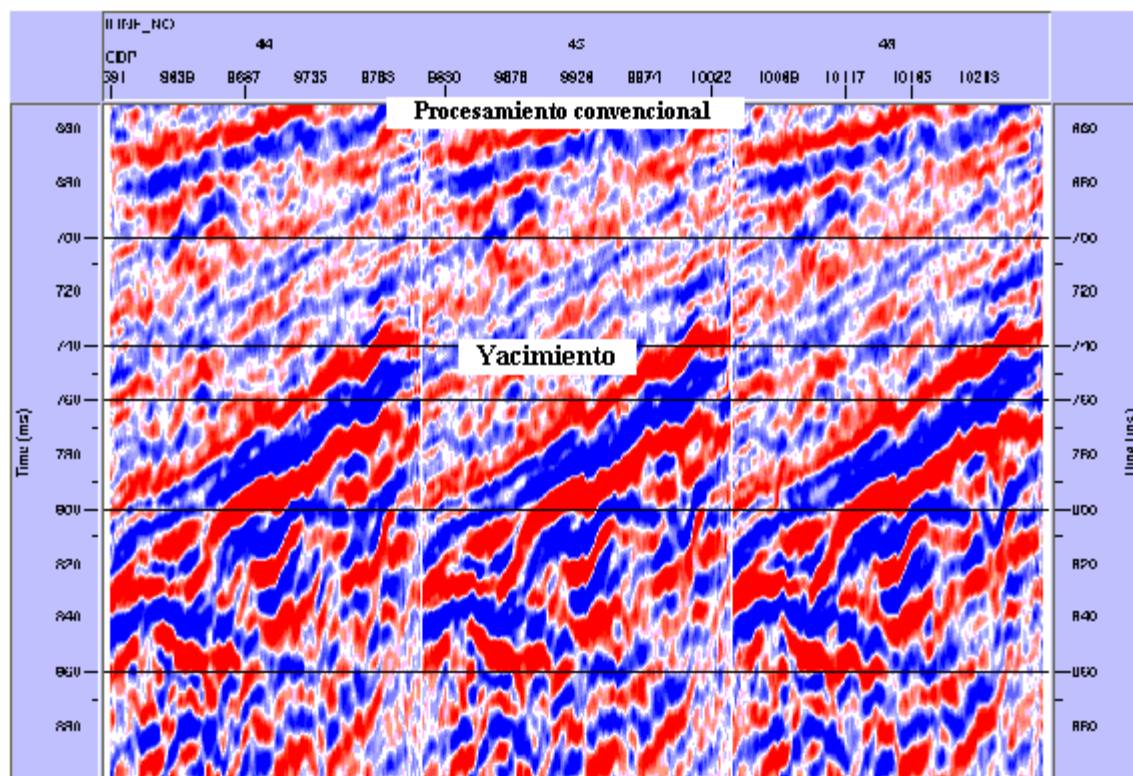


Figura 7: Una sección apilada en amplitud verdadera usando un operador de deconvolución consistente con superficie. El yacimiento está localizado entre los 640 ms y 700 ms.

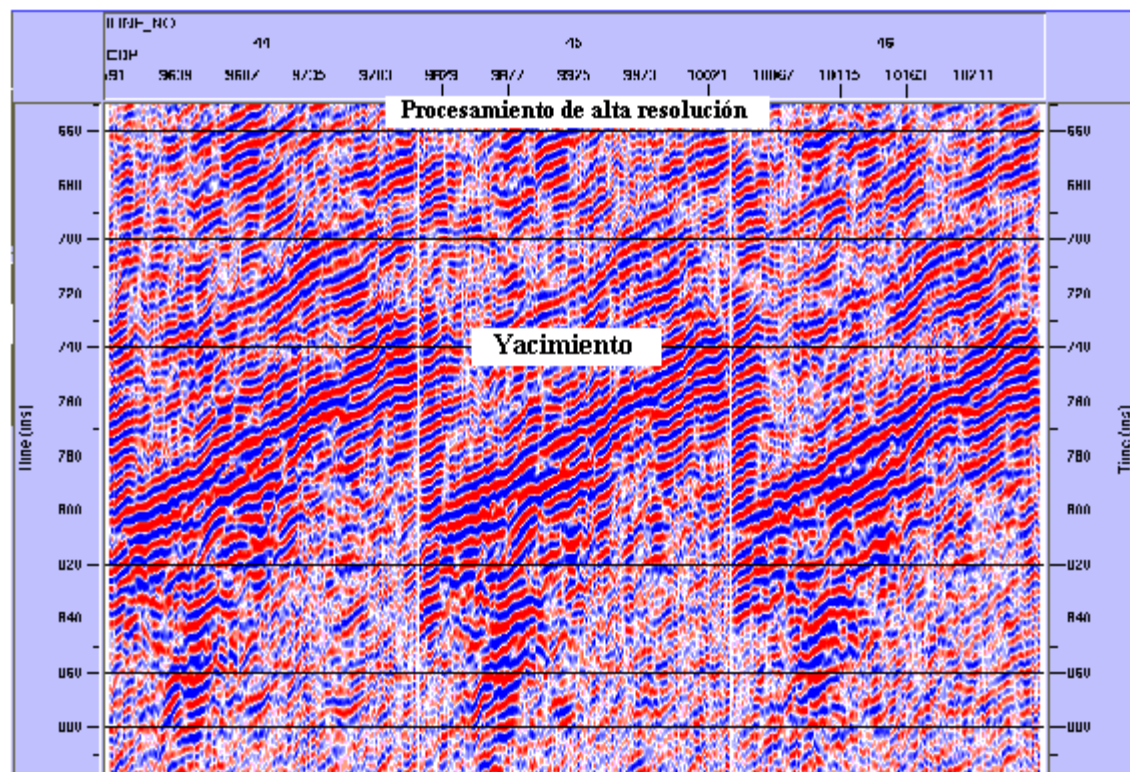


Figura 8: La misma sección apilada de la figura 7, pero utilizando la ondícula extraída de los receptores enterrados y deconvolucionando los datos del volumen 3D con ella.

