

MUY BAJAS FRECUENCIAS: NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA MEJORAR LA RESOLUCIÓN SÍSMICA

Tomas D'Biassi¹, Gabriela Goñi¹, Fernando Coetsee¹, Clemente Pérez Castresana¹,
Daniel Lorenzo¹, Luis Pianelli¹

1: YPF S.A., tomas.dbiassi@ypf.com, maria.g.goni@ypf.com, fernando.coetsee@ypf.com,
clemente.p.castresana@ypf.com, daniel.a.lorenzo@ypf.com, luis.pianelli@ypf.com

Keywords: **sísmica, bajas frecuencias, resolución**

ABSTRACT

In 2016, a new seismic vibroseis data set was acquired over the Neuquén Basin in Argentina. The survey was acquired and processed using a wide frequency spectrum toward the low (below 2Hz). This was the first implementation of this technology in Argentina.

This survey was designed using the same resources (equipment and time) as a conventional survey and was necessary to perform tests of source parameters that show that this bandwidth is generated in compliance with the quality specifications of the frequencies usually employed. The trucks vibrators are able to start the sweep in frequencies below 2 Hz.

The general processing workflow was comparable to that for conventional land acquisition. The flow includes additionally steps to mitigate the noises in the extended bandwidth in low frequency (ground roll) in a selective manner, preserving the reflection signals that were usually dimmed completely. On the receiver side, the distortion introduced by the equipment's response, in this case from some Hertz above 10 to the low end, was addressed.

The improvement in the predictability of simultaneous inversion in this area was confirmed on a line that passes through six wells. Differences were observed to show improvement in the low-frequency model that incorporated the seismic.

INTRODUCCIÓN

Históricamente las componentes de baja frecuencia no eran generadas o eran filtradas por los equipos de registración. Actualmente mejoras en el equipamiento tanto fuentes como receptores y en las técnicas de procesamiento de datos permiten obtener resultados con anchos de banda que contienen frecuencias más bajas, por debajo de 5 Hz. Esto implica considerar al momento del procesamiento los diferentes filtros que son aplicados a la señal durante la registración y que pueden afectar este ancho de banda. Hasta hace poco tiempo la generación de bajas frecuencias con fuente no impulsiva era un problema técnico no resuelto, tampoco era sencillo manejarlas con registradores. Estos problemas se han ido resolviendo y con los vibros modernos que se utilizaron en esta adquisición se puede iniciar el barrido en frecuencias tan bajas como 1,5 Hz alcanzando la

amplitud máxima en 6.8 Hz. Además, en cuanto a los sensores, su curva de respuesta desfasa en 90 grados a la frecuencia de resonancia (10 Hz en los convencionales) respecto de la banda pasante y casi 180 grados (contrafase) cuando bajamos a 6 Hz a lo que se agrega una atenuación de 12db/oct.

La inversión sísmica permite obtener propiedades elásticas a partir de los datos sísmicos. Para esto se debe construir un modelo de bajas frecuencias, habitualmente entre 0 a 10 Hz. Generalmente estas frecuencias no son adquiridas en una sísmica convencional y por lo tanto el modelo debe ser general a partir de datos de pozo y horizontes. Los perfiles de pozos se interpolan para poblar este modelo, con la suposición de que en la banda de bajas frecuencias las variaciones laterales son suaves.

La extrapolación del dato de pozo es válida en un entorno del mismo, perdiéndose exactitud a medida que nos alejamos. Las componentes de baja longitud de onda de un perfil de pozo varían lateralmente muy rápido, mientras que las componentes de alta longitud de onda tienen menor variación lateral. Por lo que cuando los datos de pozos son pocos y están muy dispersos la solución de obtener una mejor banda de bajas frecuencias en la sísmica resulta ser una mejor solución.

METODOLOGÍA

Durante el año 2016 se realizó en la provincia de Neuquén, un relevamiento sísmico con camiones vibradores (Vibroseis) que generaron un barrido lineal con un rango de frecuencias entre 1.5 Hz hasta 82 Hz. Este tipo de adquisición es algo inédito en Argentina, es la primera experiencia que se realiza con frecuencias por debajo de los 2 Hz.

Cabe destacar que con este grupo sísmico entre 2016 y 2017, YPF adquirió más de 2000 km² de sísmica 3D con parámetros de emisión de bajas frecuencias (Inferior a 5 Hz) en Santa Cruz y Neuquén. Dando resultados de buena calidad y garantizando el buen funcionamiento de los vibradores en condiciones de terreno variable.

El diseño del proyecto es ortogonal con distancia entre líneas receptoras de 300 m, y distancia entre líneas de fuente también de 300 m. Dentro de cada línea, el espaciamiento entre receptores es de 60 metros, mientras que entre fuentes es de 30 metros, obteniéndose una grilla rectangular de 30 m por 15 m. El tendido consta de 2880 canales activos en 24 líneas de 120 canales cada una, lo que da un *offset* máximo de 3600 m en *inlines* y también 3600 m en *crosslines*, siendo el *aspect ratio* igual a 1. En la adquisición de datos sísmicos cada estación receptora estuvo conformada por un arreglo de 12 geófonos distribuidos en forma areal. El ancho de banda especificado por fabricante para cada geófono fue de entre 10 Hz de frecuencia natural y 180 Hz de frecuencia espuria típica. La fuente sísmica utilizada consistió en un arreglo de cuatro vibradores simultáneos en una configuración tipo "Box". Se utilizaron vibradores de 60000 lbs de *Hold Down Weight*, con capacidad electrónica y mecánica para generar barridos con frecuencias límites entre 1 Hz y 250 Hz; especificaciones establecidas por el fabricante. A la unidad de registro se le desactivaron todos los filtros de corte bajo, dejando únicamente un filtro anti-aliasing en las altas frecuencias (164 Hz dB/Oct).

Previo a la adquisición de datos fue necesario realizar varias pruebas de emisión con bajas frecuencias, a modo de establecer los parámetros de un barrido óptimo que cumpla con las mismas condiciones de calidad establecidas para los barridos convencionales, tomando en cuenta las características propias del terreno. Las pruebas se dividieron en dos etapas; La primera consistió en evaluar sobre un *patch* fijo, la respuesta de los vibradores y la calidad del dato para diferentes *offsets* variando en la emisión: el ancho de banda, cantidad de vibradores, cantidad de barridos, longitud del barrido, tipo de barrido (lineal/no lineal), *drive force* y el *sweeptapers*. Una vez analizados y comparados todos los datos de forma cuantitativa y cualitativa, se preseleccionaron entre las diversas combinaciones, un número reducido de opciones del “barrido óptimo”. La segunda prueba consistió en comparar los parámetros preseleccionados mediante la repetición de líneas sísmicas en 2D, de este modo se evaluó el desempeño del conjunto de vibradores en condiciones similares a las de producción. Adicionalmente esta segunda prueba permitió evaluar a nivel de *stack* los resultados obtenidos para cada parámetro de emisión. Basados en los resultados de las pruebas y las exigencias de productividad del grupo, se decidió utilizar por cada VP dos barridos lineales de 20 segundos cada uno. Con un ancho de banda de 1.5 a 82 Hz, donde el taper de entrada fue de 1.7, garantizando el máximo de amplitudes a partir de los 6.8 Hz.

Durante la adquisición se llevaron los chequeos y control de calidad típicos sobre los vibradores y el dato. Diariamente se realizaron chequeos de radio similaridades, se generaron mapas y análisis estadísticos sobre los APS (atributos *post sweep*). Semanalmente se realizaron pruebas de similaridad por cable y pruebas de *forcemeter*. En el campo, el departamento de QC de la contratista se encargó de realizar el chequeo del dato y la generación de *stack* parciales. Todos los parámetros se mantuvieron dentro de los límites convencionales.

A la hora del procesamiento de datos la preservación de las bajas frecuencias (por debajo de 10 Hz) requiere considerar la respuesta de los instrumentos. La respuesta del equipo de registración y la de los geófonos convencionales produce una atenuación del espectro de amplitud, y una modificación en el espectro de fase que puede llegar a invertir la fase de la señal de bajas frecuencias distorsionando la forma de onda registrada. Considerando la respuesta de los instrumentos se diseña un operador con el objeto de corregir ambos efectos (Robinson, *et al.*, 1980). Se calculó la respuesta impulsiva en tiempo de los geófonos y el equipo de registración, y se la limitó a una longitud de 512 ms, aplicando una función de suavizado lineal para reducir los efectos de truncación en los extremos. A partir de esta serie de tiempo se calculó un filtro inverso estadístico de igual longitud, tomando como salida deseada un *spike* estabilizando el cálculo por medio de un factor de preblanqueo. Sobre los datos el mayor efecto en un *stack* se nota por el cambio de fase que se produce en las bajas frecuencias.

La aplicación de este filtro sobre una sección sumada se manifiesta como un incremento de la señal de baja frecuencia que se suma en fase con las restantes componentes del espectro de la señal sísmica (figura 1).

La secuencia de procesamiento fue diseñada especialmente para atenuar los ruidos presentes en el ancho de banda extendido en baja frecuencia (*ground roll*) en forma selectiva dejando pasar las señales de reflexión que usualmente eran atenuadas completamente. Para cada uno de los pasos de la secuencia

de procesamiento se realizó un control de calidad tanto a nivel de *gathers* como de *stack* para preservar la banda de bajas frecuencias adquiridas, poniendo foco especialmente en la atenuación de ground roll y en el operador de deconvolución. El tipo de deconvolución aplicado fue pasa banda (1,5–82 Hz) spike con una longitud de operador de 320 ms. La figura 2 muestra a modo de ejemplo un registro antes y después de la atenuación de ruidos y la figura 3 sus respectivos espectros. A nivel de *stack* se puede observar en la figura 4 la contribución de dos rangos de frecuencias.

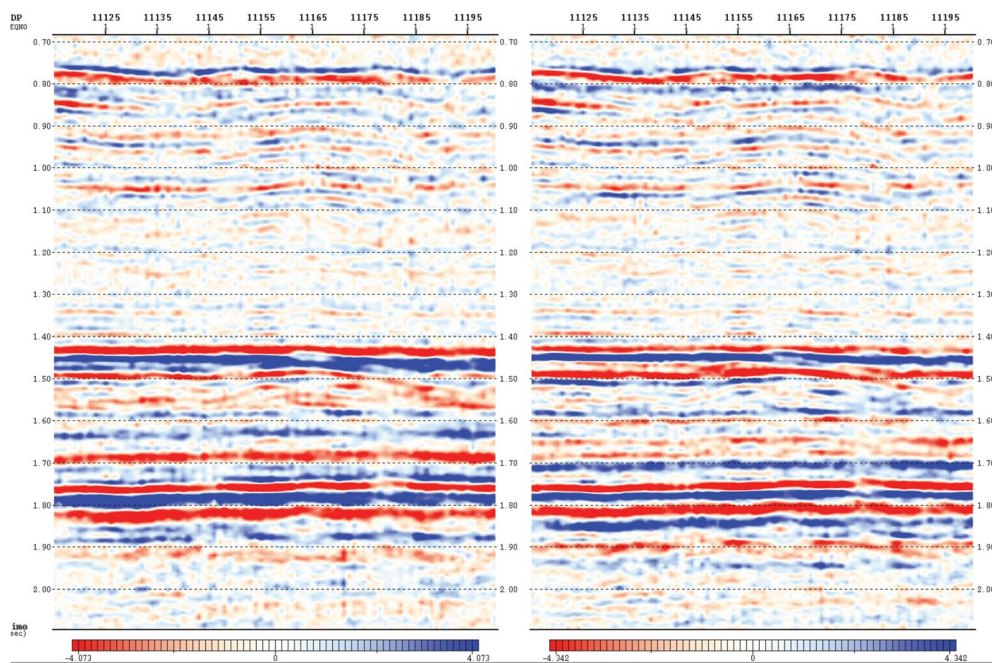


Figura 1. Se observa a la izquierda la suma con la aplicación del filtro para la remoción de la respuesta de instrumentos y a la derecha sin el filtro. Se observa un mayor contenido de bajas frecuencias en los horizontes de mayor contraste

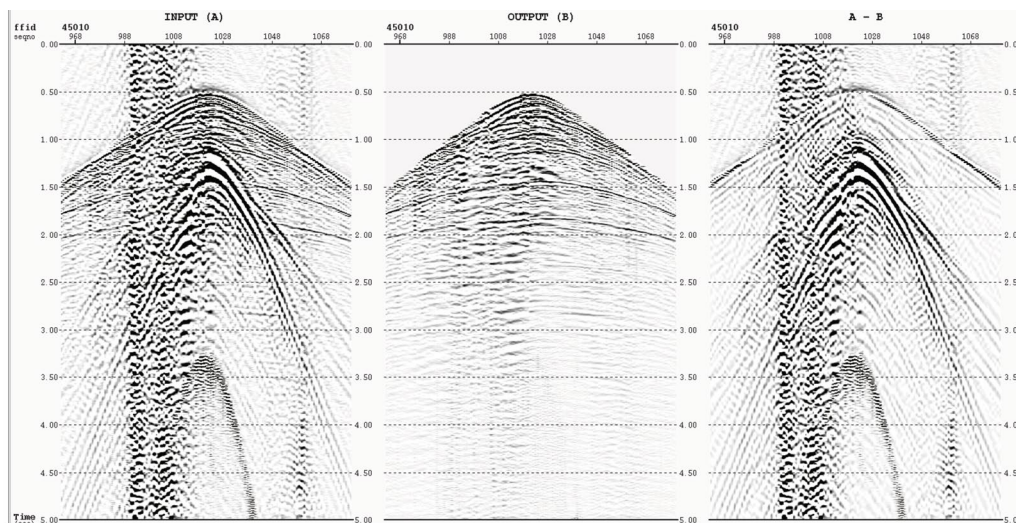


Figura 2. Se observa a la izquierda rango de canales de un registro, en el centro el mismo registro luego de la atenuación de ruidos y a la derecha la diferencia de ambos.

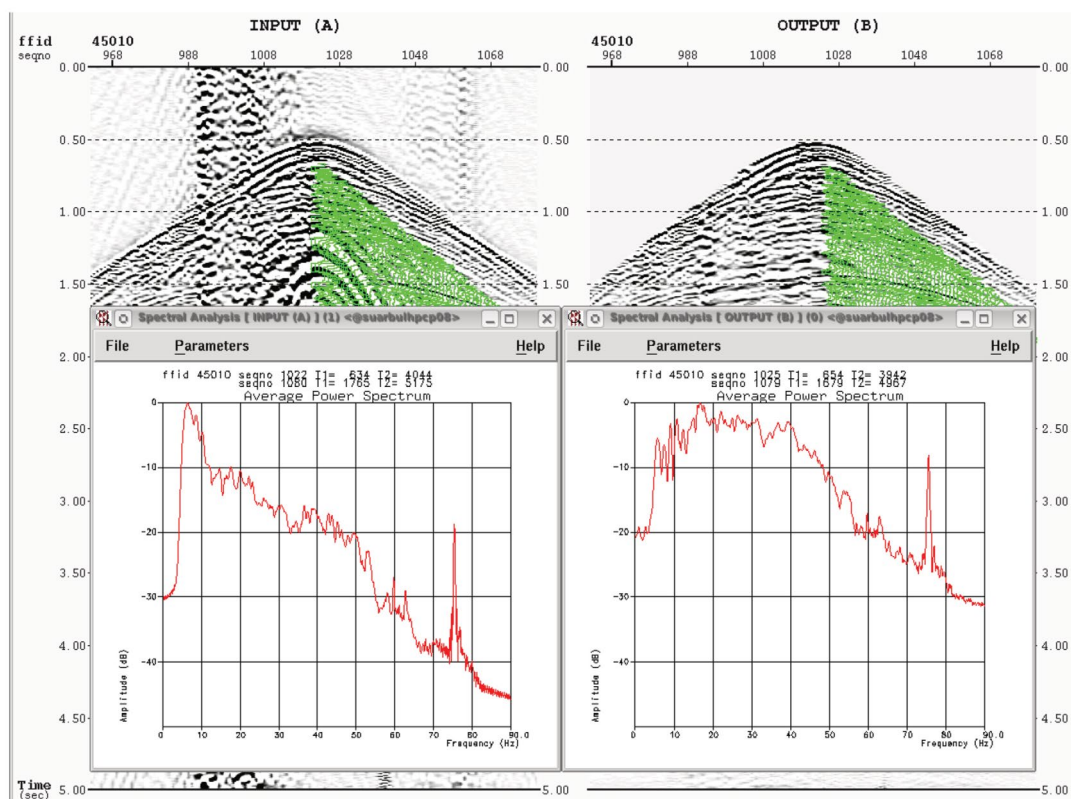


Figura 3. Se observa a la izquierda el espectro de amplitud de un registro antes de la atenuación de ruidos y a la derecha el espectro de amplitud luego de la misma.

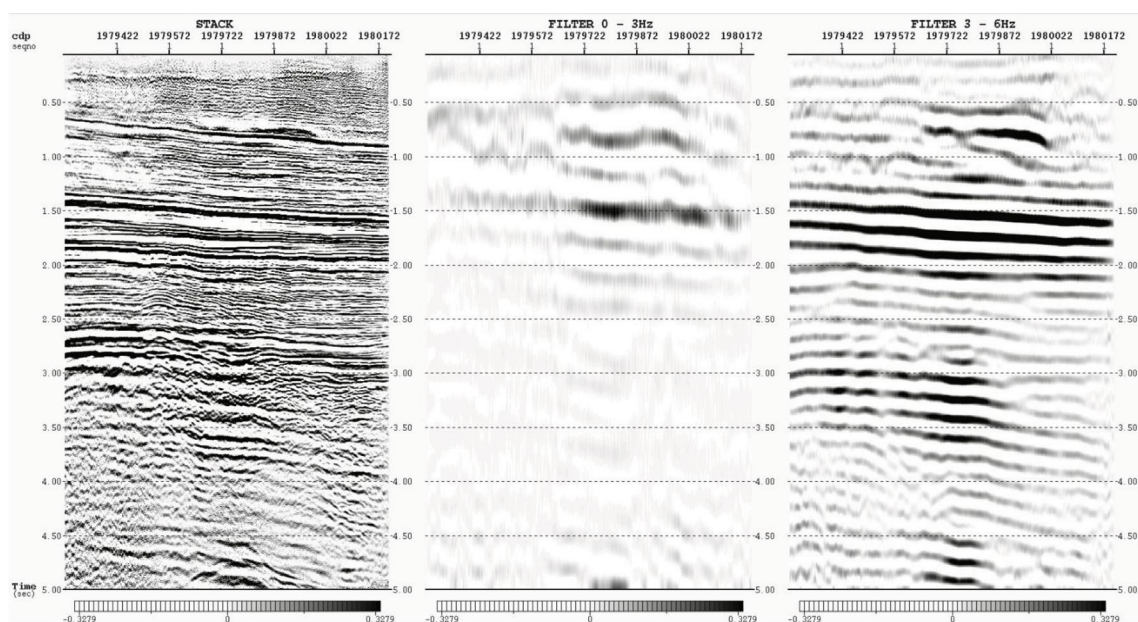


Figura 4. A la izquierda se observa el stack de una línea de banda completa de frecuencias. En el centro el aporte del rango de frecuencias entre 0 y 3 Hz y a la derecha el aporte entre 3 y 6 Hz. Todas las imágenes en la misma escala de amplitudes

INVERSIÓN

Veeken y Da Silva, en 2004, hacen una amplia clasificación de métodos utilizados para la inversión. Todos ellos tienen en común la necesidad de un modelo de bajas frecuencias debido a la ausencia de esa información en la banda de frecuencias de la sísmica.

La inversión sísmica permite obtener propiedades elásticas a partir de los datos sísmicos. Para esto se debe construir un modelo de bajas frecuencias, habitualmente entre 0 a 10 Hz. Generalmente estas frecuencias no son adquiridas en una sísmica convencional y por lo tanto el modelo se debe generar a partir de datos de pozo y horizontes. Los perfiles de pozos se interpolan para poblar este modelo, con la suposición de que en la banda de bajas frecuencias las variaciones laterales son suaves.

Continuamente se buscan nuevas técnicas que mejoren la construcción del modelo de bajas frecuencias. Ray, *et al.*, en 2015 proponen una técnica más robusta que la interpolación. Kemper, *et al.*, Waters, en 2017, hacen una interesante disquisición general sobre el modelo de bajas frecuencias para la inversión y proponen la construcción de un modelo de bajas a partir del conocimiento de las facies presentes. Todas estas técnicas apuntan a tener abundancia de datos de pozos.

Dado que la extrapolación del dato de pozo pierde exactitud a medida que se aumenta la distancia al mismo, dicha extrapolación es válida en un cierto entorno del mismo. Como las componentes de baja longitud de onda de un perfil de pozo varían lateralmente muy rápido su extrapolación tiene validez en un entorno de radio reducido. Al realizar la interpolación de los datos de los pozos en bajas frecuencias se asume que las mismas varían suavemente en forma lateral, lo que no siempre es cierto. Una reducción en el rango de frecuencias a interpolar a partir de la obtención de las mismas desde el dato sísmico permite mejorar la calidad de la inversión por medio de la reducción del rango de frecuencias a obtener en la interpolación. Por esta razón, cuando los datos de pozos son pocos y están muy dispersos, una mejora en el contenido de bajas frecuencias de la sísmica permite obtener información faltante para el proceso de inversión sísmica.

En una zona con gran cantidad de pozos, se generó un modelo ideal de bajas frecuencias con abundancia de pozos, utilizando el método de inversa del cuadrado de la distancia para luego comparar el mismo con diferentes modelos de baja frecuencia con menos pozos, y obtenidos por dos caminos diferentes.

Por un lado, se generó el modelo habitual interpolando perfiles de pozos en un rango de frecuencias convencional.

Por otro lado, se obtuvo un modelo de bajas frecuencias de tipo mixto, donde se une la información de muy baja frecuencia de los pozos, con la banda de frecuencias de la sísmica faltante para hacerlo comparable con el anterior. Para realizar este segundo modelo o modelo

mixto, se realizó un proceso de inversión sísmica (en este caso particular inversión simultánea) que luego fue filtrada con un corta-altos al rango final de frecuencias para comparar entre sí todos los modelos de bajas frecuencias: el ideal (interpolando con muchos pozos), el convencional y el mixto (que incorpora información de la sísmica), todos con la misma banda de frecuencias.

RESULTADOS

La mejora en la predictibilidad de la inversión simultánea en esta área se comprobó sobre una línea arbitraria que pasa por seis pozos (figura 5a). De ellos, se utilizaron dos para construir el modelo de bajas (figura 5b), mientras que los otros cuatro se utilizaron como testigos. Se compararon dos alternativas: un modelo de bajas frecuencias solamente con perfiles de pozos filtrados con un pasa-bajos 10-14 Hz (figura 5b) versus un modelo alternativo con perfiles de pozos filtrados con un pasa-bajos 6-10 Hz al que se le agregan frecuencias sísmicas de 6 a 14 Hz con un proceso de inversión seguido de filtrado pasa-bajos 10-14 Hz (figura 5c). En ambos casos se compararon los modelos con los perfiles de pozos que no se utilizaron en su generación. Se observaron diferencias que muestran mejoras en el modelo de baja frecuencia que incorporó la sísmica. Se puede que el modelo de la figura 5c tiene un muy buen ajuste de los pozos 4 y 5 especialmente para los eventos entre 1400 ms y 1700 ms. También se puede observar que el pozo 3 no fue bien representado por ninguno de los modelos.

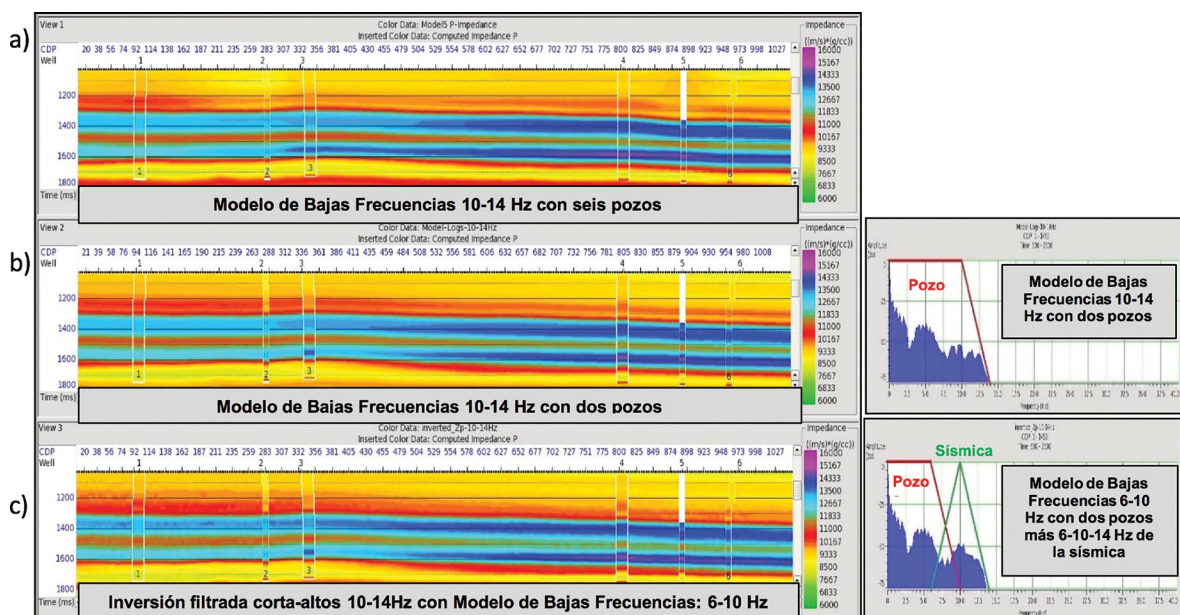


Figura 5. a) Modelo de baja frecuencia a partir de datos de 6 pozos sobre línea arbitraria. b) Modelo de baja frecuencia utilizando solamente los dos pozos de los extremos de la línea arbitraria. c) modelo alternativo con perfiles de pozos filtrados con un pasa-bajos 6-10 Hz al que se le agregan frecuencias sísmicas de 6 a 14 Hz.

CONCLUSIONES

El relevamiento sísmico que en el año 2016 se realizó en la provincia de Neuquén con camiones vibradores (Vibroseis) que generaron un barrido lineal con un rango de frecuencias entre 1.5 Hz hasta 82 Hz permitió obtener una más amplia banda de frecuencias hacia las bajas. Este tipo de adquisición fue la primera experiencia que se realizó en Argentina con frecuencias por debajo de los 6 Hz. Se comprobó la recepción de datos de bajas frecuencias generadas por Vibradores de última generación utilizando receptores convencionales. Los camiones vibradores respondieron dentro de los límites de calidad establecidos para parámetros estándar en diversas condiciones de terreno. En futuras adquisiciones se podría testear el comportamiento de receptores de bajas frecuencias.

Durante el procesamiento de los datos sísmicos se diseñó un operador, considerando la respuesta de los instrumentos, con el objeto de corregir la atenuación de amplitud y las modificaciones de la fase que ocurren en frecuencias muy bajas.

Los tests de inversión simultánea realizados, muestran una mejora en su predictibilidad al depender menos de los datos de pozos para el modelo de bajas frecuencias.

AGRADECIMIENTOS

Le damos las gracias a la Gerencia de Operaciones Geofísicas de YPF S.A. Y la Gerencia del Negocio de Exploración de YPF S.A. por permitir la publicación de este trabajo.

REFERENCIAS

- Baeten, G., A. Egretau, J. Gibson, F. Lin, P. Maxwell, and J. Sallas, 2010, Low-frequency generation using seismic vibrators: 72nd Conference and Exhibition, EAGE, Extended Abstracts, B015.
- Kemper, M. and Waters, K. Facies-based inversion through the asset lifecycle. 2017 SBGf, 15th International Congress, Rio de Janeiro.
- Mahrooqi*, S. Rawahi, S. Yarubi, S. Abri, A. Yahyai, M. Jahdhami, K. Hunt and, J. Shorter, 2012, Land seismic low frequencies: acquisition, processing and full wave inversion of 1.5 - 86 Hz: SEG Las Vegas 2012 Annual.
- Ray, A. K., and Chopra, S. More robust methods of low-frequency model building for seismic impedance inversion 2015 SEG, New Orleans Annual Meeting.
- Robinson, E.A., and Treitel, S., 1980, Geophysical Signal Analysis, Prentice-Hall, Inc., N.J.
- Veeken, P. C. H. and Da Silva, M., Seismic inversion methods and some of their constraints, First Break, volume 22, June 2004