



Inversión de traza en el Yacimiento Barrancas (Mendoza)

Luis Pianelli, José Luis Taillant y Rubén Guevara

YPF S.A., División Exploración, Buenos Aires, Argentina

Resumen

El objetivo de este trabajo es mostrar como se puede utilizar la inversión de Traza Sísmica (Inversión de amplitudes post-apilamiento) para obtener mapas de porosidad y espesor útil. Se trabajó con la porción correspondiente a la zona de Brecha Verde, del 3D realizado en el Yacimiento de Barrancas, en la provincia de Mendoza de la República Argentina. El intervalo seleccionado para este estudio fue la parte superior de la Formación Barrancas. El resultado del proceso de Inversión es un cubo de impedancias acústicas. Las velocidades se calcularon a partir de las impedancias con el auxilio de la ecuación de Gardner, mientras que las porosidades fueron obtenidas a partir de las velocidades mediante la fórmula de Wyllie. También se muestra en este trabajo otra interesante relación que permite obtener la porosidad directamente a partir de la impedancia acústica cuando no es posible aplicar la ecuación de Gardner.

INTRODUCTION

El 3D de Barrancas tiene 821 inlines y 1321 xlines. El tamaño del bin es de 25x25 metros. La parte del 3D que se seleccionó para este estudio va de inline 285 a 425 y de xline 323 a 490, abarcando una superficie de aproximadamente 14,6 Km².

Esta zona comprende un anticlinal que contiene una gran cantidad de pozos. En la figura N°1 se puede observar la sísmica a la ventana de tiempo de interés. En la misma figura se pueden apreciar los horizontes interpretados: tope de la Formación Barrancas, tope y base de la Formación Cacheuta y el tope de Cabras. Este último a veces se confunde con la base de la Formación Cacheuta, debido a que hacia el alto de la estructura las unidades se adelgazan, especialmente la Formación Potrerillos, intermedia entre ambas.

En la figura N°2 se muestran los perfiles del pozo YPF.Md.B-464 con los pases que indican las principales formaciones de interés. Entre Barrancas y Cacheuta se ubica la Formación Río Blanco. Este pozo es el único, dentro del área seleccionada, que tiene datos de densidad.

RELACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD Y LA DENSIDAD

El resultado de la Inversión de trazas es un cubo de impedancias acústicas. La impedancia acústica compresional de una roca es el producto entre la densidad y la velocidad de propagación de las ondas compresionales de dicha roca.

$$[1] \quad I = \rho \cdot V$$

Para obtener las velocidades a partir de las impedancias acústicas es necesario conocer o por lo menos contar con una buena estimación de las densidades.

Una de las mejores aproximaciones es la fórmula de Gardner, que relaciona densidad con velocidad. Esta relación fue propuesta por Gardner (1974) a partir de numerosas mediciones de rocas de todo tipo, y es aceptablemente precisa para arenas y arcillas.

Para comprobar la eficacia de esta relación se trabajó con los perfiles del pozo YPF.Md.B-464. A partir de los tiempos de tránsito del perfil sísmico se obtuvo un perfil de velocidades (la velocidad es la inversa del tiempo de tránsito).

Con estas velocidades a partir de la ecuación de Gardner se generó un perfil de densidad teórico o calculado. Este perfil de densidades se comparó con el perfil de densidad real corrido en el pozo.

Se decidió modificar los parámetros de la ecuación de Gardner para tratar de lograr un mejor ajuste entre el perfil de densidad medido y el perfil de densidad calculado. En forma genérica la Fórmula de Gardner puede expresarse como:

$$[2] \quad \rho = a * V^b$$

Se buscaron los parámetros a y b óptimos en el sentido que minimicen el error entre el perfil de densidad medido y el calculado. Para el intervalo comprendido entre 2020 y 2140 mbbp del pozo YPF.Md.B-464, que incluye la Formación Barrancas y parte de Río Blanco se determinó que:

$$a = 0.111856 \quad \text{y} \quad b = 0.322975$$

Finalmente las velocidades pueden obtenerse como:

$$[3] \quad V = \left(\frac{I}{a} \right)^{\frac{1}{1+b}}$$

DETERMINACIÓN DE LA ONDÍCULA

A partir de los perfiles sísmicos de los pozos YPF.Md.B-459, YPF.Md.B-391 y YPF.Md.B-326 se generaron los perfiles de velocidad y a partir de estos se calcularon los perfiles de densidad utilizando la expresión de Gardner corregida. Con dichos perfiles se determinaron las impedancias acústicas y los coeficientes de reflexión a incidencia normal:

Teniendo en cuenta el modelo convolucional de la traza sísmica, en donde esta se considera como la convolución de la ondícula con los coeficientes de reflexión a incidencia normal más ruido, es posible determinar la ondícula dados los coeficientes de reflexión (calculados a partir de los perfiles de pozo) y conocida la traza sísmica en la ubicación del pozo.

PROCESO DE INVERSIÓN

El proceso de inversión de amplitudes consiste en determinar las impedancias acústicas a partir de las amplitudes de las trazas sísmicas. Para ello se necesita conocer la ondícula, para quitar su efecto. Además se debe contar con un modelo de bajas frecuencias que provea la información faltante en la sísmica. Dicho modelo se generó con los datos de pozos y los horizontes interpretados.

Las impedancias acústicas pueden transformarse a velocidades utilizando la ecuación [3].

En la figura N°3 se pueden observar las velocidades calculadas a partir de las impedancias obtenidas por el proceso de inversión. Se dividió la formación Barrancas en dos intervalos y se interpretó la base del intervalo superior en el cubo de velocidades.

MAPA DE IMPEDANCIAS ACÚSTICAS

En la figura N°4 se observa el mapa de la impedancia acústica promedio en el intervalo superior de la Formación Barrancas.

La amplitud de la sísmica es proporcional al contraste de impedancias que existen por encima y por debajo del tope de Barrancas. Mientras que la impedancia acústica promedio en el intervalo superior de Barrancas es un valor que no depende de las capas que están por encima o por debajo de dicho intervalo.

OBTENCIÓN DE LA POROSIDAD

Pendrel y Van Riel (1997) muestran como obtener la porosidad a partir de las impedancias acústicas, encontrando una función lineal que ajusta las porosidades derivadas de los perfiles de densidad de los pozos versus las impedancias acústicas obtenidas del proceso de inversión. Sin duda este es el método más directo y con menos suposiciones. Pero en la zona en estudio había un solo pozo con perfil de densidad.

Al no contar con datos suficientes se aplicó el esquema más primitivo que consiste en utilizar las relaciones de Gardner (1974) y Wyllie (1956). A partir de la velocidad de propagación de una onda compresional en una roca es posible encontrar el correspondiente tiempo de tránsito. Si se conoce el tiempo de tránsito de la matriz de una roca porosa, su porosidad puede calcularse como:

$$[4] \quad \phi = \frac{\Delta t - \Delta t_{ma}}{189 - \Delta t_{ma}}$$

En la figura N°5 se observa un mapa de porosidades calculado a partir de las velocidades, y utilizando:

$$\Delta t_{ma} = 55 \mu s / ft$$

Si no hubiera sido posible utilizar la Fórmula de Gardner para el cálculo de la velocidad a partir de la impedancia acústica, habría podido utilizarse otra expresión que permite encontrar la porosidad en forma directa a partir de la impedancia acústica. Dicha expresión se muestra a continuación, y requiere como dato adicional la densidad de la matriz de la roca.

POROSIDAD A PARTIR DE LA IMPEDANCIA ACUSTICA

A partir de:

$$[5] \quad \Delta t = \Delta t_{ma} (1 - \phi) + \Delta t_f \phi \quad \text{y}$$

$$[6] \quad \rho = \rho_{ma}(1 - \phi) + \rho_f \phi$$

como la impedancia acústica es el producto de la densidad de un medio por la velocidad de propagación de las ondas compresionales en dicho medio, entonces:

$$[7] \quad I = \frac{\rho_{ma} - (\rho_{ma} - \rho_f)\phi}{\Delta t_{ma} + (\Delta t_f - \Delta t_{ma})\phi}$$

Despejando la porosidad a partir de la expresión [5] es posible encontrar:

$$[8] \quad \phi = \frac{(I \cdot \Delta t_{ma} - \rho_{ma})}{(I \cdot \Delta t_{ma} - \rho_{ma}) - (I \cdot \Delta t_f - \rho_f)}$$

es decir, es posible obtener porosidades a partir de impedancias acústicas, si se conocen el tiempo de tránsito y la densidad, **tanto de la matriz como del fluido** presente en los poros.

MAPA DE ESPESOR UTIL

La diferencia entre el tope y la base de un intervalo en tiempo puede convertirse en espesor multiplicando por la velocidad media en dicho intervalo, y dividiendo por dos, debido a que los tiempos sísmicos son tiempos dobles. Es por lo tanto factible generar un mapa de espesores.

Por otro lado si se multiplica el espesor por la porosidad se obtiene el espesor útil (net pay). En la figura N°6 se muestra el mapa de espesores útiles para el intervalo superior de la Formación Barrancas.

EXACTITUD DE LOS RESULTADOS

En cuanto a la exactitud de esta información, dependerá de dos factores fundamentales: 1) la exactitud de las impedancias acústicas y 2) la validez de las simplificaciones que se efectúan para el cálculo de las densidades y las porosidades.

El primer punto hace referencia al algoritmo de inversión, al tipo de software utilizado y especialmente a la calidad de los datos que se ingresan al proceso de inversión.

El segundo punto se refiere al hecho de que tanto la ecuación de Gardner como la de Wyllie son empíricas y aproximadas pudiendo darse el caso de que se ajusten a la realidad con un grado bajo de exactitud.

En todos los casos, la comparación de los valores calculados de porosidad con los valores medidos en pozos servirá para chequear su exactitud. Más aún, las técnicas de geoestadística permitirán mejorar los resultados al permitir integrar los resultados obtenidos de la sísmica con las mediciones puntuales de los pozos.

CONCLUSIONES

El cubo de impedancias acústicas que se obtiene por el proceso de Inversión de trazas es de extrema utilidad ya que puede brindar una enorme cantidad de información útil en forma simple y clara. Para ello es imprescindible interpretar en el cubo de impedancias acústicas el tope y la base de la formación o intervalo de interés, para luego medir dentro de dicho intervalo las impedancias acústicas y derivar a partir de ellas y de sus variaciones las propiedades físicas que sean de utilidad.

BIBLIOGRAFIA

Gardner, G.H.F., Gardner, L.W. and Gregory, A.R. - December 1974 - Geophysics, vol. 39.

Pendrel, John y Van Riel, Paul, Jason Geosystems, "Using Seismic Inversion to estimate porosity: a Western Canadian Reef example.", 1997 CSEG Convention

Wyllie, M.R.J., Gregory, A.R. y Gardner, L.W., 1956, Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media: Geophysics, 21.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración brindada por el personal del centro de procesos de geofísica, Sede Central, para la obtención del cubo de impedancias acústicas. Se agradece también la colaboración de Miguel Angel Marnetti, Leonardo Rodríguez Arias y Mario Vicente del Yacimiento Barrancas. Por último se agradece la ayuda de Osvaldo Ferraris y Osvaldo Acevedo, quienes aportaron consejos y observaciones para mejorar este trabajo. Finalmente se agradece a YPF S.A. por autorizar la publicación de este trabajo.

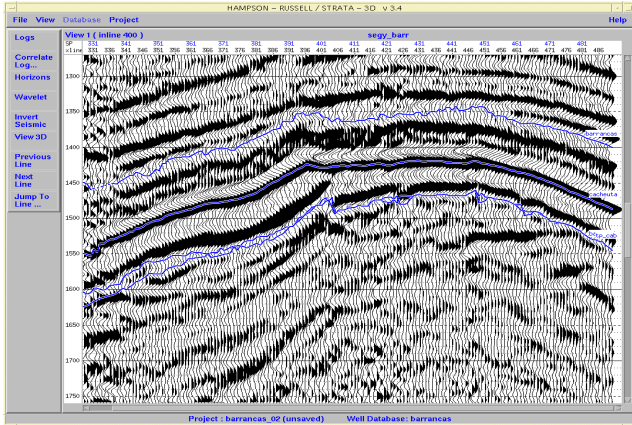


Figura N°1: 3D Barrancas, inline 400 (N-S)



Figura N°2: Perfiles del pozo YPF.Md.B-464: caliper, rayos gamma, potencial espontáneo, resistividad, sísmico y densidad.

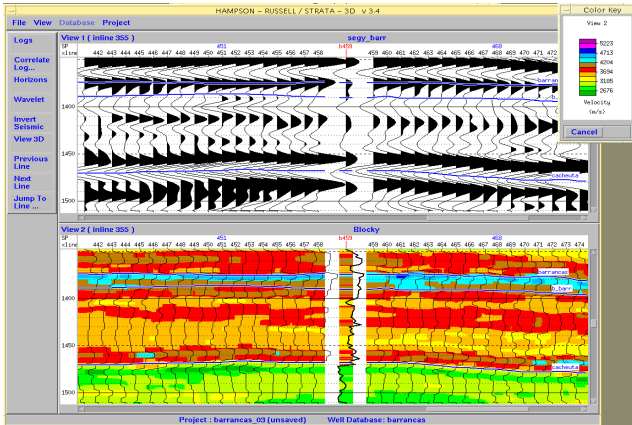


Figura N°3: Inline 355. Comparación entre la sísmica y las velocidades derivadas de las impedancias acústicas obtenidas por el proceso de Inversión.

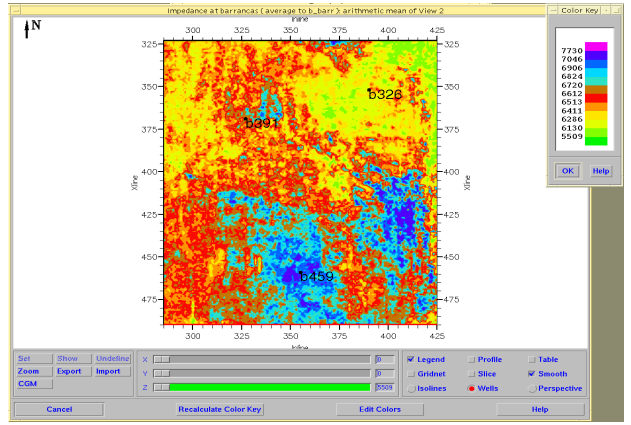


Figura N°4: Mapa de Impedancias acústicas medias en el intervalo superior de la Formación Barrancas.

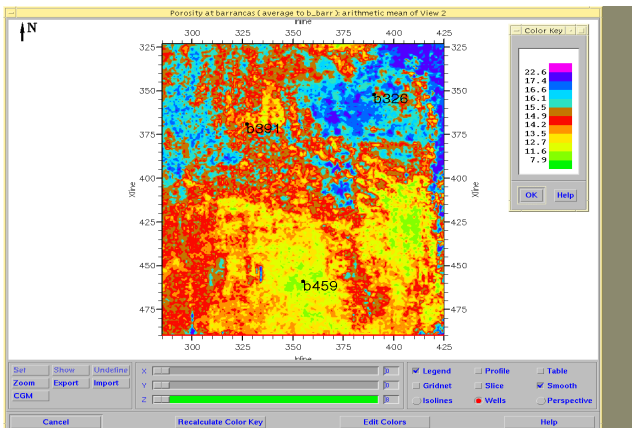


Figura N°5: Mapa de porosidad en el intervalo superior de la Formación Barrancas.

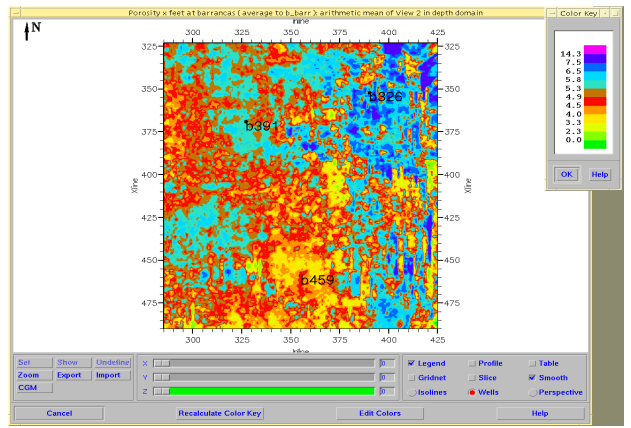


Figura N°6: Mapa de espesor útil del intervalo superior de la Formación Barrancas.