

Análisis de perfiles de GPR obtenidos con el modo continuo

Analysis of GPR profiles obtained with the continuous way

M.Garreta⁽¹⁾, P.Queral⁽¹⁾, B.Benjumea⁽²⁾, J. Ledo⁽¹⁾, A. Marcuello⁽¹⁾, P. Arbués⁽¹⁾, J.Travassos⁽³⁾, P. Menezes⁽⁴⁾.

⁽¹⁾Departament de Geodinàmica i Geofísica. Universitat de Barcelona, c. Martí i Franqués s/n, 08028, Barcelona, mgarreta@ub.edu

⁽²⁾Secció de Geofísica Aplicada. Institut Catagràfic de Catalunya.

⁽³⁾Observatório Nacional, Rio de Janeiro. Brasil.

⁽⁴⁾Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Brasil

SUMMARY

The Ainsa turbiditic deposits (central Pyrenees, Spain) are an analog on surface of a petroliferous reservoir. There different units can be identified, among them two are of interest: the stratified and the chaotic ones. To characterize their boundary a ground penetrating radar (GPR) survey was performed, which allowed obtaining a 3D image of it. In this work different methodological aspects regarding with the acquisition process are studied. The area is a rectangle of 25x15 m, with a step mesh of 0,2m. Two different acquisition procedures were used: "step by step" and continuous mode. The last one consists of recording the electromagnetic signal when the antennas are mounted on a specially designed vehicle which is dragged along at constant velocity. The antennas are 0.2m above the ground level, and every 5-10 m the number of traces is controlled to obtain the proper resolution. The location of the traces is performed later. Comparison of both acquisition procedures shows that the data from continuous mode contains higher frequencies and have a higher resolution. To understand and explain this behavior synthetic models have been generated using different geological parameters and antenna elevations.

1. INTRODUCCIÓN

El georadar (GPR) es una técnica geofísica no invasiva que obtiene imágenes del terreno de alta resolución. En la mayoría de campos profesionales (geología, arqueología, ingeniería, etc) la obtención de una imagen 3D de la subsuperficie puede ser muy útil para la observación y el estudio de la dirección de las estructuras en 3D (Travassos, J. et al, 2006; Radzevicius, S y Daniels J, 2000).

El depósito turbidítico de Ainsa (España) se sitúa en el Pirineo Axial Central a 70 km de la población de Huesca y 80 km de la frontera con Francia (ver Figura 1). Las unidades de estudio de la serie turbidítica consisten en una unidad superior de arenisca, bien estratificada, con intercalaciones decimétricas a métricas de limos con bloques. Estas capas tienen una dirección de capa y buzamiento de 050/25° NW. La unidad inferior es una unidad caótica de limos con bloques decimétricos a métricos.

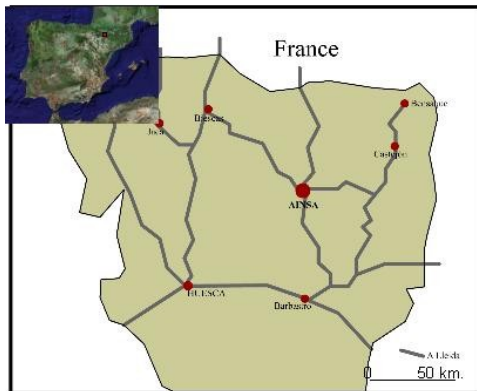


Figura 1 – Localización del depósito turbidítico de Ainsa..
(Location of the turbiditic deposit of Ainsa.)

El objetivo de éste trabajo es analizar los datos obtenidos mediante GPR para la construcción de una imagen tridimensional de la estructura geológica.

2. METODOLOGÍA

El equipo utilizado es un PULSE EKKO 100, con las antenas de 100 Mhz. La malla tiene unas dimensiones de 25m x 15m con un azimut de 10N. Se han realizado perfiles en las dos direcciones de la malla N-S y E-W con un intervalo de muestreo de 0,2m, muy inferior al intervalo de Nyquist calculado mediante la fórmula:

$$\Delta x \leq \Delta x_n = \frac{\lambda}{4 \sin \alpha} \quad (1)$$

Donde λ es la longitud de onda, α es el ángulo de buzamiento de la onda plana. Con una velocidad constante y una superficie terrestre horizontal, el ángulo de la onda plana es igual al ángulo de buzamiento de las capas geológicas (Grasmueck.M et.al, 2005). Para obtener un mapa topográfico de detalle se han radiado 200 puntos topográficos dentro de la malla con un teodolito LEIKA.

Debido a la cantidad de perfiles que se necesitan para la obtención de la imagen 3D del terreno, se utiliza el modo continuo para la adquisición de datos. Si se compara con el método estándar del "paso", este método puede reducir 3 veces el tiempo de adquisición de datos, algunos autores, afirman que el tiempo se puede reducir hasta 10 veces (Lehmann.F y Green.A, 1999). El modo continuo se basa en mover a una velocidad muy pequeña el conjunto receptor y transmisor mientras la antena transmisora emite las pulsaciones electromagnéticas. Para facilitar el transporte se ha diseñado un vehículo (ver figura 2) que no causa ninguna interferencia con la señal. Con éste método se debe tener en cuenta para un buen análisis de los perfiles que las antenas no están exactamente paralelas y pueden presentar pequeñas oscilaciones pudiendo causar alguna discontinuidad en los reflectores.



Figura 2 – Vehículo diseñado para facilitar el transporte de las antenas. En modo continuo el tiempo de adquisición de datos se reduce a una tercera parte.

(Designed vehicle to facilitate the transport of the antennas. In continuous way the time of data acquisition is reduced to one third.)

En los perfiles se ha aplicado un procesado estándar con la diferencia que previamente se equidistant las trazas. Este paso no presenta problemas ya que en la campaña de campo se realizó un control para asegurar que hay un exceso de trazas y evitar, de esta manera, la extrapolación de información.

Un esquema geológico se presenta en la figura 3.

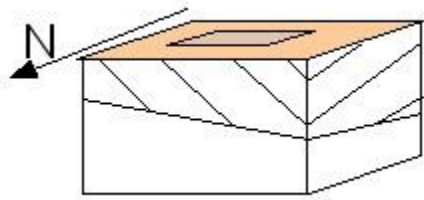


Figura 3 – Bloque diagrama del esquema geológico del afloramiento.
(Block diagram of the geologic scheme of the outcrop)

3. RESULTADOS

Los perfiles que se han realizado tienen una orientación E-W y N-S. En los perfiles E-W (ver Figura 4) se puede observar unos reflectores que buzcan hacia W entre los 20-60 ns. Estos reflectores quedan enmascarados totalmente por unas hipérbolas con ápex a 12m y entre los 60 ns hasta los 160 ns con una amplitud alta. Si se hace un ajuste de velocidad en las hipérbolas se puede observar que la velocidad es muy alta ($v=0,18$ m/ns)

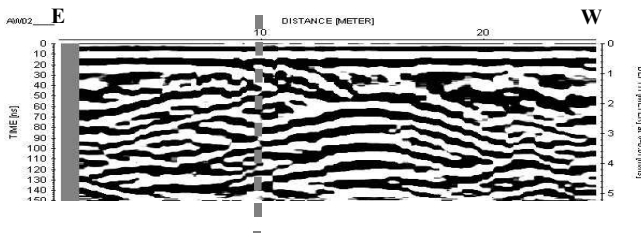


Figura 4 – Radargrama E-W con una polarización de antenas perpendicular a la dirección del perfil. Se observan unos reflectores que buzcan hacia el W. Quedan enmascarados por unas hipérbolas con velocidad muy elevada ($v=0,18$ m/ns).

(E-W radargram with a perpendicular polarization of antennas to the direction of the profile. Reflectors have a dip towards the W. Their are masked by hyperbolas with a high velocity ($v=0,18$ m/ns)).

En los perfiles N-S (ver Figura 5), en cambio, se observan los reflectores buzando hacia el Norte entre los 20-60 ns. A mayor tiempo hay una pérdida de señal importante.

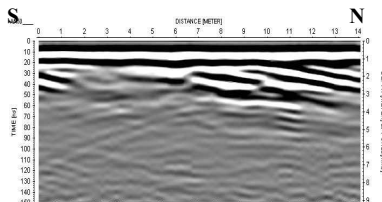


Figura 5– Radargrama N-S con una polarización de antenas perpendicular a la dirección del perfil. Se observan unos reflectores que buzcan hacia el N.

(N-S radargram with a perpendicular polarization of antennas to the direction of the profile. Reflectors have a dip towards the N. There is a loss of signal from the 60 ns.)

Al realizar una imagen 3D del terreno con una malla con perfiles perpendiculares, se obtiene una información adicional. Con la primera traza de cada perfil S-N, se obtiene un perfil E-W pero con una polarización de las antenas paralela a la dirección del perfil (ver

Figura 6). En este perfil se pueden observar unos reflectores continuos que buzcan hacia el W entre los 20-60 ns. A partir de los 60 ns hay una pérdida de la señal clara y no se generan hipérbolas.

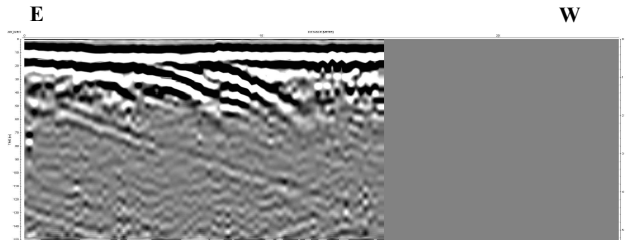


Figura 6 – Radargrama E-W con una polarización de antenas paralela a la dirección del perfil. Se observan unos reflectores que buzcan hacia el W. No se generan hipérbolas.

(E-W radargram with a parallel polarization of antennas to the direction of the profile. Reflectors have a dip towards the W. Hyperbolas are not generated).

Para explicar la generación de las hiperbolas de alta velocidad y la pérdida de señal a partir de los 60 ns, se ha construido varios modelos que simulan la geología del afloramiento. Un ejemplo lo observamos en la Figura 7. En el modelo se puede observar que la intersección entre las capas de la unidad superior y el contacto entre las unidades actúan como un punto difractor y generan unas hipérbolas de velocidad muy elevada ($v=0,16$ m/ns).

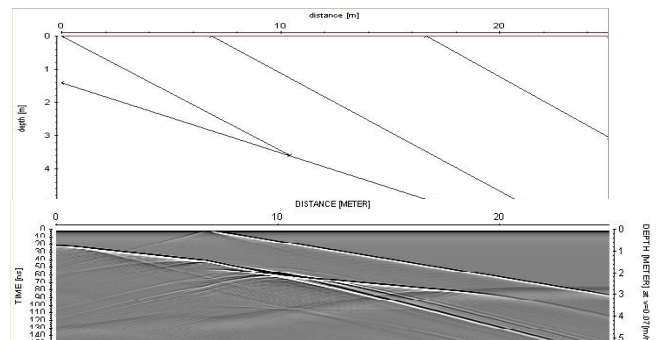


Figura 7 – Modelo y radargrama sintético de una situación onlap. Se observa que la intersección de la capa de la unidad superior con el plano del contacto genera un punto difractor que genera hipérbolas con una velocidad muy elevada ($v=0,16$ m/ns).

(Model and synthetic radargram of an onlap situation. It is observed that the intersection of the layer of the superior unit with the plane of the contact generates a diffractor point that generates hyperbolas with a high velocity ($v=0,16$ m/ns).)

En octubre de 2005, medio año más tarde, se realizó otra campaña en el mismo afloramiento. Se realizó el mismo perfil que la Figura 4, con una disposición de antenas perpendicular a la dirección del perfil y con el método del “paso a paso”. Se pueden observar (ver Figura 8) unos reflectores continuos, que buzcan hacia al W. La señal se pierde a los 80 ns y no se generan hipérbolas.

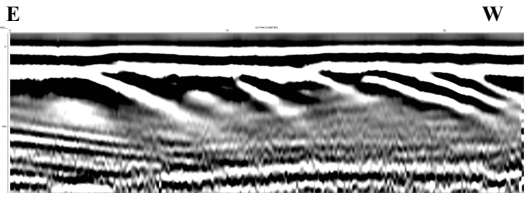


Figura 8– Radargrama E-W con una polarización de antenas paralela a la dirección del perfil. La adquisición de datos se ha realizado con el método del paso. Se observan unos reflectores que buzan hacia el W. No se generan hipérbolas.

(E-W radargram with a parallel polarization of antennas to the direction of the profile. The data acquisition has been made with the "step" method. Reflectors have a dip towards the W. Hyperbolas are not generated.)

4. DISCUSIÓN

Antes de integrar todos los datos en una imagen 3D del terreno se tienen que entender adecuadamente todos los perfiles 2D. Se han analizado tres posibles causas de las hipérbolas que se discuten a continuación:

- 1- La generación de hipérbolas se debe a cualquier interferencia (pared, topografía,...)
- 2- El propio método de adquisición provoca la generación de hipérbolas.
- 3- La generación de hipérbolas se debe a las características del subsuelo.

1- Las hipérbolas no pueden ser debidas a un rebote de un elemento del paisaje (pared, árbol,...) ya que la malla se ubicó en un lugar llano y muy alejado de la pared del afloramiento. Si se solapan los ápex de las hipérbolas con el mapa topográfico (ver Figura 9), se puede observar que las hipérbolas no se generan donde aparece el máximo gradiente topográfico, en cambio, los ápex tienen una dirección similar a la dirección de capa. Es cierto que los ápex parecen seguir un canal topográfico, pero este puede formarse debido a la intercalación de una capa blanda entre las capas de arenisca de la unidad superior.

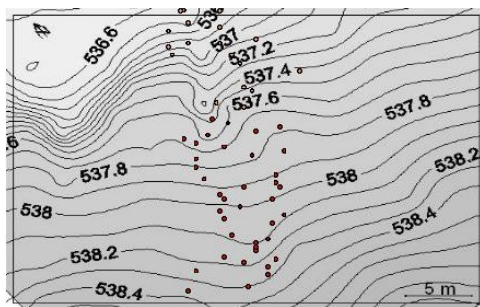


Figura 9– Mapa topográfico con los ápex de las hipérbolas solapados. Se observa que los ápex tienen una dirección similar a la dirección de capa.

(Topographic map with hyperbolas apex. It is observed that apex has a direction similar to the layer direction.)

2- Tampoco se puede atribuir al método de adquisición de datos sea la causa de la generación de las hipérbolas ya que con el mismo método pero con una polarización de antenas diferente se generan y en el otro no (ver Figura 4 y Figura 6).

3- Las características del subsuelo parecen ser la causa de la generación de las hipérbolas. Para estudiar esta hipótesis se han simulado varios modelos para observar el radargrama sintético. En una situación de *onlap* (ver Figura 7) se observa que la intersección entre una capa de la unidad superior y el contacto entre unidades actúa como un punto difractor y genera unas hipérbolas de velocidad elevada (0,16 m/ns).

En resumen, la generación de hipérbolas con velocidad elevada se genera en función de la polarización de las antenas y en función de la época del año (ver Figura 4 y Figura 8). No se deben a una interferencia de un elemento del paisaje (pared, árbol) ni tampoco a una característica topográfica (ver Figura 9). Tampoco se debe al método de adquisición de datos, pues, con el mismo método pero con una polarización de antenas concreta, se generan y con otra polarización no se generan. Finalmente, con la simulación numérica, se puede concluir que son debidas a las características del subsuelo, tratándose de una estructura en 3D muy direccional y una litología con unos cambios en la constante dieléctrica (humedad) importantes.

5. CONCLUSIÓN

Utilizando la información referente a la polarización de las antenas, se ha concluido que la generación de hipérbolas es consecuencia del carácter direccional de la estructura geológica 3D.

La modelización numérica ha servido para descartar y entender diferentes situaciones geológicas y hipótesis de trabajo.

Se ha detectado el contacto entre unidades mediante los ápex de las hipérbolas. También se ha observado que, en una estación húmeda, la unidad caótica actúa como capa sellante y el agua queda estancada en el contacto.

7. AGRADECIMIENTOS

Proyecto "Intercambio de ideas y experiencias en el estudio de análogos de reservorios de petróleo (en particular, de reservorios turbidíticos) mediante la integración de datos geológicos" PHB2004-0103-TA

8. REFERENCIAS

- Grasmueck, M. et al. (2005): "Full-resolution 3D GPR imaging". *Geophysics*, 70, no 1, k12-k19.
- Travassos, J. et al. (2006): "Multi-component GPR imaging of Marambaia Isthmus". *11th International Conference on Ground Penetrating Radar*, June 19-22, 2006 Columbus Ohio, USA.
- Radzevicius, S. y Daniels, J. (2000): "Ground penetrating radar polarization and scattering from cylinders". *Journal of Applied Geophysics*, 45, 111-125.
- Lehmann, F. y Green, A. (1999): "Semiautomated georadar data acquisition in three dimensions". *Geophysics*, 64, no 3, 719-731.