



Comparación entre radar del subsuelo de baja frecuencia y sísmica de reflexión de alta resolución para la detección de la serie fosfatada de la cuenca de Sidi Chennane (Marruecos).

T. Teixidó⁽¹⁾, A. Kchikach⁽²⁾, J.A. Peña⁽¹⁾, E. Carmona⁽¹⁾, M. Jaffal⁽²⁾, B. Bouya⁽³⁾

⁽¹⁾ Instituto Andaluz de Geofísica, Universidad de Granada, tteixido@ugr.es

⁽²⁾ Faculté des sciences et techniques Université Cadi Ayyad, Marrakech,

⁽³⁾ Groupe Office Cherifien des Phosphates (OCP), Maroc.

RESUMO

Devido à importância dos depósitos fosfáticos de Sidi Chennane (Khouribga, Marrocos), a pessoa veio, enquanto explorando com sondagem eletromagnéticas no domínio do tempo (TDEM) e Sondagem Verticais Eléctricas(SEV). Ambos tipos de investigação tiveram como objetivo a localização dos corpos estéreis que ficam escondidos nas camadas de fosfato; e que são a causa principal de interrupção dos trabalhos de exploração mineira. E, embora para eles foram mostrados como métodos válidos para a localização destes corpos, apresentam a inconveniência que são métodos lentos na aquisição de dados de campo, si se faz conta das demandas de produção do jazigo. Durante dois anos, nosso grupo de investigação está avaliando a aplicação de radar do subsolo (Ground Penetrating Radar method; GPR) como técnica mais rápida de aquisição de dados e obtendo de resultados. Para isto foi usado uma antena biestática de 40 MHz e o perfil ficava perto da frente de exploração para possuir um controle bom da geologia dos primeiros metros. Adicionalmente, na mesma linha de reconhecimento uma seção sísmica de reflexão de alta resolução (com geófonos de 40 Hz separado 5 m) foi obtida para ter outro método geofísico de contraste. Neste estudo nós apresentamos os resultados obtidos e a interpretação combinada deles.

1. INTRODUCCIÓN

Marruecos es el país mayor productor de fosfatos del mundo. Sus reservas se evalúan en 85.000 millones de m³; representando las ¾ de las reservas mundiales conocidas, Azmany *et al.* (1986). Particularmente, la cuenca sedimentaria de Ouled Abdoun situada en el centro del país (Figura 1) contiene la mayor parte de estas reservas.

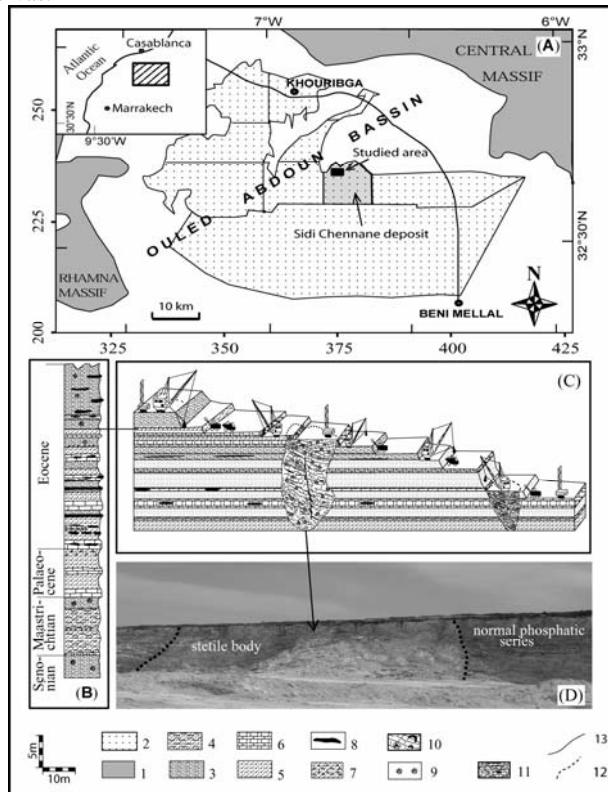


Figura 1 – A. Localización de la zona de estudio en la cuenca sedimentaria de Ouled Abdoun. B. Columna estratigráfica de la serie fosfatada. C. Esquema mostrando la interrupción de una explotación a causa de la presencia de cuerpos estéreis. D. Imagen de un cuerpo estéril en un frente de explotación.. (A. Location of studied zone. B. Stratigraph

column of phosphatic series. C. Sterile body exampl in explotaiton context D. Real image of a sterile body).

En esta cuenca las series fosfatadas presentan una disposición tabular con un grosor en torno a los 50 m. En algunos lugares de la explotación esta sucesión vertical de capas fosfatadas y estériles no existe; todos los niveles de la serie aparecen fragmentados en bloques, mezclados y transformados formando cuerpos estériles silicificados en distinto grado (Figura 1). Estos cuerpos tienen formas cilíndricas o de cono invertido y sus diámetros varían desde los 10 hasta más de 150 m, Kchikach (2002). Su origen se explica por una fuerte subsidencia local debida al hundimiento de cavidades infrayacentes producidas por la disolución de yesos. La capa de yesos corresponde al Senoniense y se encuentra en la base de la serie fosfatada

La presencia de estos cuerpos estériles en la serie fosfatada causa dos grandes problemas: (1) Puesto que dichos cuerpos están ocultos por la cobertera cuaternaria, no puede conocerse a priori la cantidad ni el volumen que ocupan en una determinada zona; de forma que ello afecta a los cálculos de la reservas de un frente de explotación. (2) También suelen ser cuerpos duros y compactos que ralentizan y encarecen notoriamente la extracción de fosfatos, ya que se debe realizar una malla densa de sondeos y detonar dinamita para su eliminación.

Por tanto, su detección y delimitación bajo la cobertera cuaternaria facilitaría mucho y abarataría la producción minera. En el presente estudio se evalúa la capacidad de detectección de estos cuerpos estériles mediante prospección GPR de baja frecuencia; dada la rapidez de adquisición de datos. Para ello se realizó un perfil rádar cercano al frente de explotación para disponer de un corte geológico de control. Y, a fin de contrastar la respuesta rádar con frente a otro método geofísico se realizó una prospección sección sísmica sobre la misma traza.

2. TRABAJO DE CAMPO

El perfil rádar de 300 m de longitud se obtuvo con una antena de 25 Mhz (GSSI Inc.). La distancia entre el emisor-receptor se estableció en 2.1 m y la conexión a la unidad de registro se efectuó mediante fibra óptica. Las antenas se dispusieron sobre un carrito que se arrastró manualmente con una geometría de disparo tal para obtener perfiles de *offset* común y de cobertura simple a medida que se tira del carro (Tabla 1).

**Tabla 1 – Parámetros de adquisición rádar (GPR field params)**

Antena	25 Mhz
Rango de exploración	1000 ns
Trazas por m	10
Muestras por traza	1024
Stacs por traza	64
Bits por muestra	16
Filtro vertical pasa bajas	800 MHz
Filtro vertical pasa altas	30 MHz

El perfil sísmico se realizó sobre el mismo trazado que el perfil rádar y la geometría de disparo (con martillo de 8 kg de masa) se planteó para obtener una sección sísmica de reflexión. Así mismo, también se realizaron disparos a fin de calcular el correspondiente perfil de refracción. En la Tabla 2 se presentan los parámetros de adquisición más significativos.

Tabla 2 – Parámetros de adquisición sísmicos (Seismic field params)

Sismógrafo	Geometrics NZ
Numero de canales	24, pero doble disparo para simular 48
Tiempo de registro	1000 ms
Tiempo de muestreo	0.1 ms
Bits por muestra	16
Filtro vertical pasa bajas	10 MHz
Filtro vertical pasa altas	1000 MHz
Distancia entre geófonos	3 m
Offset más cercano	4.5 m

3. RESULTADOS

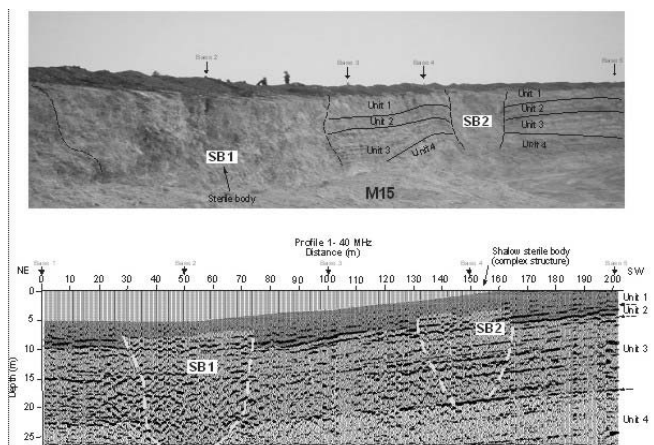
Con el dispositivo experimental usado en este estudio el perfil GPR corresponde a una sección de *offset* común de cobertura simple, en contraposición con las secciones sísmicas que son de cobertura múltiple-CMP. Ello comporta que las trazas rádar presenten una mayor atenuación. Como problema añadido, también está presente en los radargramas otro tipo de ruido coherente debido a que las antenas son aéreo-transportadas. En estas situaciones se generan ondas múltiples entre la capa de aire-suelo que se acoplan a las reflexiones reales reduciendo aún más la relación señal/ruido del radargrama. En la Tabla 3 se hallan descritos los pasos del procesado aplicado a los datos. En la fase de pre-procesado se ha utilizado el software estándar de rádar RADAN (6.5, GSSI Inc.) y en la fase final de procesado se ha utilizado el paquete sísmico SUNT (Geosoft, Inc.).

Tabla 3 – Flujo de procesado de datos GPR (GPR flow processing)

1. Structure Identification: Time-zero correction (Thres. 3000) T-R Antenna Separation = 2.1 m Background Removal
2. Predictive Deconvolution (n=41 ns, lag=5 ns, prewhiting=0.1%; range gain (L) = 1.5)
3. Vertical Triangle Band-pass filter 160-20 MHz f
4. Horizontal Triangle Background (n=501 traces)
5. Horizontal Triangle Stack (4 traces)
6. Gain compensation (L) 1.5, 0.8, 1.8, 1.4, 1.5
7. Velocity analysis (time migration) Vmig=0.1 m/ns;
8. Elevation correction

9. Conversion to SEG-Y format
10. Time migration
11. Coherence filter
12. Ensemble gain
13. Depth conversion (dielectric ct.= 9)

Para atenuar el ruido aleatorio se ha usado una suma de 4 trazas adyacentes en cada estación (*vertical stacking*). Ello ha podido hacerse suponiendo que la distancia entre puntos CMP es pequeña (10 cm) comparada con la profundidad de investigación (20 m de promedio) y que la geometría de los reflectores es plana; lo cual ocurre en la serie fosfatada de Sidi Chennane. De manera que puede suponerse que los rayos de puntos adyacentes tienen trayectorias parecidas y además pueden tratarse como rayos en incidencia normal. Cuando ocurre esto, los perfiles GPR devienen equivalentes a una sección sísmica y tienen una traza para cada CMP, Young & Sun (1999). Para eliminar el ruido coherente se ha aplicado una deconvolución predictiva y filtros horizontales; pero siempre de forma que se preservara lo más posible el ancho de banda de las frecuencias.

**Figura 2 – Perfil rádar interpretado y su comparación con el corte geológico próximo. (Interpretation of the GPR profile and its comparison with the geologic target).**

Los datos sísmicos de reflexión se han procesado con el paquete SUNT (Geosoft, Inc.) y el perfil de refracción con el programa Rayfract (V3.03, 2007). Los resultados preliminares obtenidos por ambos métodos muestran una buena correspondencia con las improntas del perfil rádar, presentando éste último la ventaja de una mayor rapidez en la adquisición y tratamiento de los datos.

4. REFERENCIAS

- M. Azmany, X. Farkhany, H.M. Salvan, Gisement des Ouled Abdoun, Géologie des gîtes minéraux marocains, t. 3, Phosphates, Notes et Mém. Serv. géol. Maroc 276 (1986) 200–249.
- Kchikach, C. Durllet, K. El Hariri, N. Alfeddy. Un nouveau point sur l'origine des *derangements* dans la série phosphatée du bassin des Ouled Abdoun (maroc). Soumis to The Second International Conference on the Valorization of Phosphates and Phosphorus compounds, Marrakech, Morocco, November 9-11, 2006.
- Young, R.A. & Sun, J. (1999). Revealing stratigraphy in ground-penetrating radar data using domain filtering. *Geophysics* **64**, 435-442.