

Sísmica de reflexión de alta resolución: una herramienta imprescindible para la ingeniería civil, hidrogeología y minería.

F. Merchán Álvarez, M. Higuera Gil, J. Abeger, OCSA Prospecciones y Estudios S.L. (España).*

Resumen

En esta comunicación se pretende mostrar la utilidad de la Prospección Geofísica mediante **Sísmica de Reflexión de Alta Resolución** para el estudio de macizos rocosos hasta profundidades de 500 – 1000 metros.

Summary

This communication intent to show the Geophysics Prospection utility, in the survey of the rocky framework. Looking to 500-1000 meters using the high resolution reflexion seismic techniques.

Presentación

La Prospección Geofísica con **Sísmica de Reflexión de alta resolución**, gracias a su gran poder de resolución, permite obtener una visión, en el dominio distancia-tiempo (sección sísmica), muy exacta y completa del edificio estructural, en algunos casos, desde casi la superficie del terreno hasta unos 600-1000 metros de profundidad. Este aspecto, unido a un buen estudio del campo de velocidades permite la transformación en profundidad de las secciones sísmicas, obteniéndose un corte geológico - geofísico muy detallado hasta la profundidad mencionada, proporcionando la distribución de las diferentes litologías, la definición de la red de fallas y fracturas, la caracterización del macizo rocoso mediante su velocidad sísmica (ondas P reflejadas), su grado de fracturación, etc.

Estas cualidades hacen especialmente útil ésta técnica para:

- El estudio de monteras de túneles: ferroviarios, carreteros, hidráulicos, etc.
- Definición de estructuras geológicas que pueden funcionar como acuíferos explotables.
- En minería para definir la estructura geológica general de una zona determinada.

En los ejemplos que se adjuntan se pueden apreciar con claridad el grado de información que aporta.

Metodología

Creemos que este artículo no es el espacio oportuno para una explicación detallada del método de **Sísmica de Reflexión de Alta Resolución** (véase IngeoTúneles, Libro 4, capítulo 1), por lo que nos limitaremos a exponer de forma muy resumida la metodología que se sigue generalmente.

Dado que como exponemos en el enunciado anterior los resultados del método son óptimos para trabajos de ingeniería civil/hidrogeología/minería hemos tenido que adaptar las técnicas utilizadas de forma que puedan resolver de la manera más útil los problemas y/o dificultades que este tipo de trabajos entrañan, y que son:

- *- La necesidad de registrar en lugares abruptos (las monteras de los túneles nos llevan a relieves exagerados).
- *- La imposibilidad, por problemas técnicos o medioambientales, de abrir caminos.

*- La urgencia, en muchos de los casos, por la aparición de problemas inesperados en la ejecución de la obra.

Estos problemas nos han empujado a diseñar la utilización de equipos de campo lo mas ligeros posibles que al mismo tiempo produzcan en el terreno el mínimo impacto. Lo que nos imposibilita a utilizar explosivos y/o fuentes cuyo transporte necesitaría de una importante cantidad de mano de obra/infraestructura. Por eso después de múltiples experimentos utilizamos de forma genérica un martillo de 8 Kg. como fuente de energía.

Esto nos ayuda a resolver el otro principal problema: como se necesita en muchos de los casos la mayor precisión horizontal posible y el transporte y colocación de dispositivos muy pesados (gran numero de trazas) nos esta vedado, nos vemos obligados a trabajar con un dispositivo ligero y flexible que, en nuestro caso, hemos encontrado como optimo con la utilización de un parque de 48 trazas, variando el numero y tipo de geófonos por traza desde 2 a 6. Este numero de trazas, unido a la multiplicidad de “tiros” producida por la flexibilidad de la fuente nos permita alcanzar en la explotación estándar de un perfil, doble cobertura 24, con íntertraza en posición espejo de $\frac{1}{4}$ de la distancia entre traza en superficie, y un offset máximo de 24 veces la distancia entre traza.

Aquí nos parece que es necesario hacer una mención especial a la interpretación de las dromocrónicas de los registros por el método de refracción lo que nos permite la obtención de correcciones estáticas muy precisas.

Es necesario señalar que el desarrollo de estas técnicas ha sido posible gracia a la ayuda del OGS de Trieste, que, a su vez, ha desarrollado un software que permite procesar de forma ordenada este tipo de datos que, en principio, cuando llegan del terreno parecen un tanto caóticos. En todos los casos se desarrolla el procesado buscando los mejores datos de velocidad que permitan

conseguir la mejor sección stack posible y a partir de ella se obtiene la correspondiente sección migrada.

Por último, se realiza una interpretación geosísmica que permite comparar los datos con los de los Sondeos (NO siempre los hay), los datos de refracción explotados para las estáticas y las velocidades RMS y su adaptación a la migración.

Un aspecto muy importante a la hora de realizar ésta interpretación geosísmica es la utilización, por parte del interpretador, del “carácter sísmico” (conjunto de características que diferencian cada una de las reflexiones tales como: amplitud, periodo, continuidad y/o evolución en el espacio, etc. de forma que permiten identificarla y diferenciarla) de cada una de las reflexiones principales que corresponden a las diferentes interfaces y, en función de las discontinuidades de las mismas, se establece el conjunto de fallas que forman el edificio estructural. Es importante destacar la importancia que tiene en esta interpretación, además de la experiencia del interpretador, la discriminación de “ruidos organizados” tales como: difracciones, refracciones reflejadas, etc. que señalan de forma indirecta discontinuidades, cavidades, etc.; una vez definido todo este conjunto de elementos en la sección tiempo, es el momento de aplicarle la transformación en profundidad a través del campo de velocidades.

Vista esta exposición podemos concluir que una aplicación racional de la **sísmica de reflexión de alta resolución** incluye la realización de algunos sondeos mecánicos de reconocimiento, que no tienen por que ser previos a la obtención de la sección sísmica, sino que podrían ser posteriores a ella, para optimizar sus resultados y corregir imprecisiones, limitándolos a los puntos donde dicha sección señalara los problemas más importantes (esto limitaría el número de sondeos a los mínimamente necesarios).

Aplicaciones prácticas: ejemplos de dos estudios realizados

Los ejemplos que se presentan se han registrado con las siguientes características:

- 1.- Doble Cobertura 2400%.
- 2.- Intertraza en superficie de 5 m e Intertraza total en subsuperficie de 1,25 m.
- 3.- Longitud del dispositivo: 125 m y 4 geófonos por traza.
- 4.- N° de tiros por posición: dos en avance y dos en retroceso.
- 5.- Longitud de registro: 0,5 segundos, con un muestreo de la señal cada 0,250 milisegundos.
- 6.- IFP activo.

Ejemplo 1

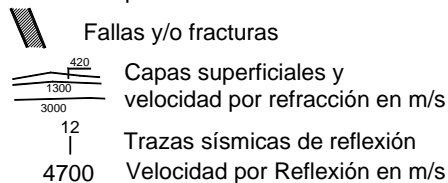
Reconocimiento Geofísico mediante Sísmica de Reflexión de Alta resolución de un macizo Terciario de Calizas y Areniscas para las obras de construcción de un Túnel ferroviario.

karstificaciones, las cuales fueron comprobadas mediante la realización de ensayos Lugeon en los sondeos mecánicos realizados.

Se pudo definir la red de fallas y fracturas que podrían afectar el trazado del túnel. De las fallas detectadas, las principales fueron confirmadas por la cartografía geológica de superficie realizada por el gabinete geológico de la ingeniería receptora del informe.

El valor del Índice Q de Barton obtenido a partir de las velocidades sísmicas obtenidas durante el procesado de la sección coincidió con la valoración geotécnica del macizo realizada a partir de los ensayos geotécnicos realizados en las muestras obtenidas en los sondeos (ensayos de rotura a compresión simple, triaxiales, etc.)

Refracción superficial



POSIBLE ATRIBUCIÓN LITOLÓGICA

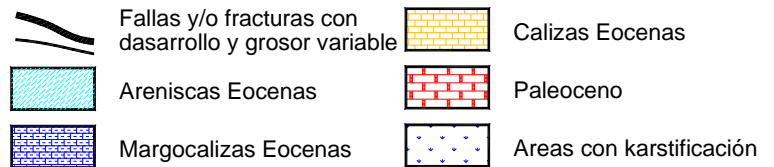


Fig. 3. Leyenda correspondiente al corte geosísmico de la Fig. 2.

En este caso los objetivos planteados eran: por lado la detección de la red de fallas y fracturas que podrían atravesar la traza del futuro túnel, la determinación de la velocidad sísmica de los diferentes materiales a atravesar, definiéndose, en lo posible, el valor del Índice Q de Barton y finalmente la delimitación de las zonas que pudieran estar más karstificadas.

Para cubrir estos objetivos se realizaron dos procesados, por un lado el convencional y por otro un procesado en amplitudes verdaderas, de la comparación entre los resultados obtenidos con ambos procesados permitió diferenciar las posibles zonas asociadas a

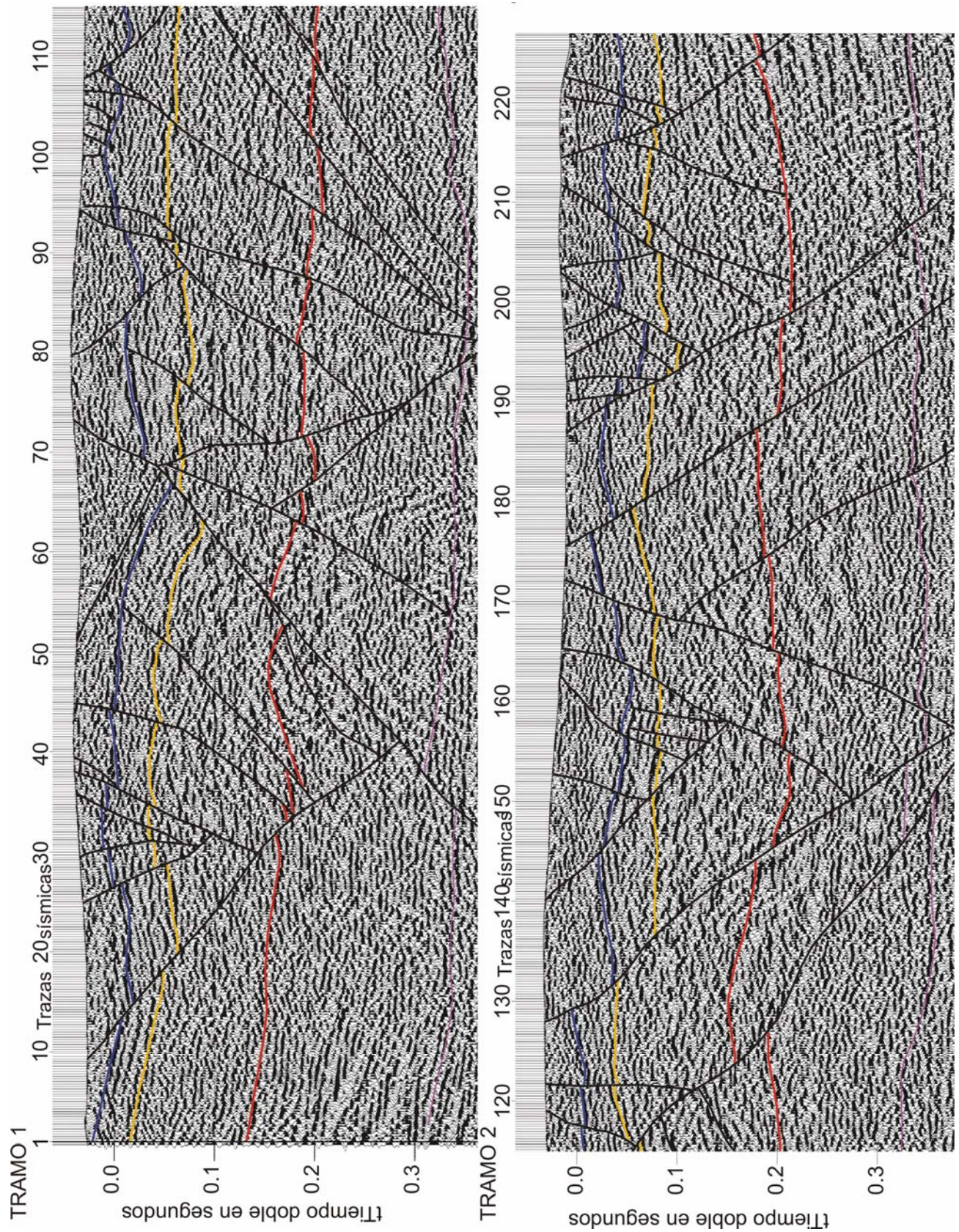


Fig. 1. Ejemplo 1: Sección Migrada con su interpretación

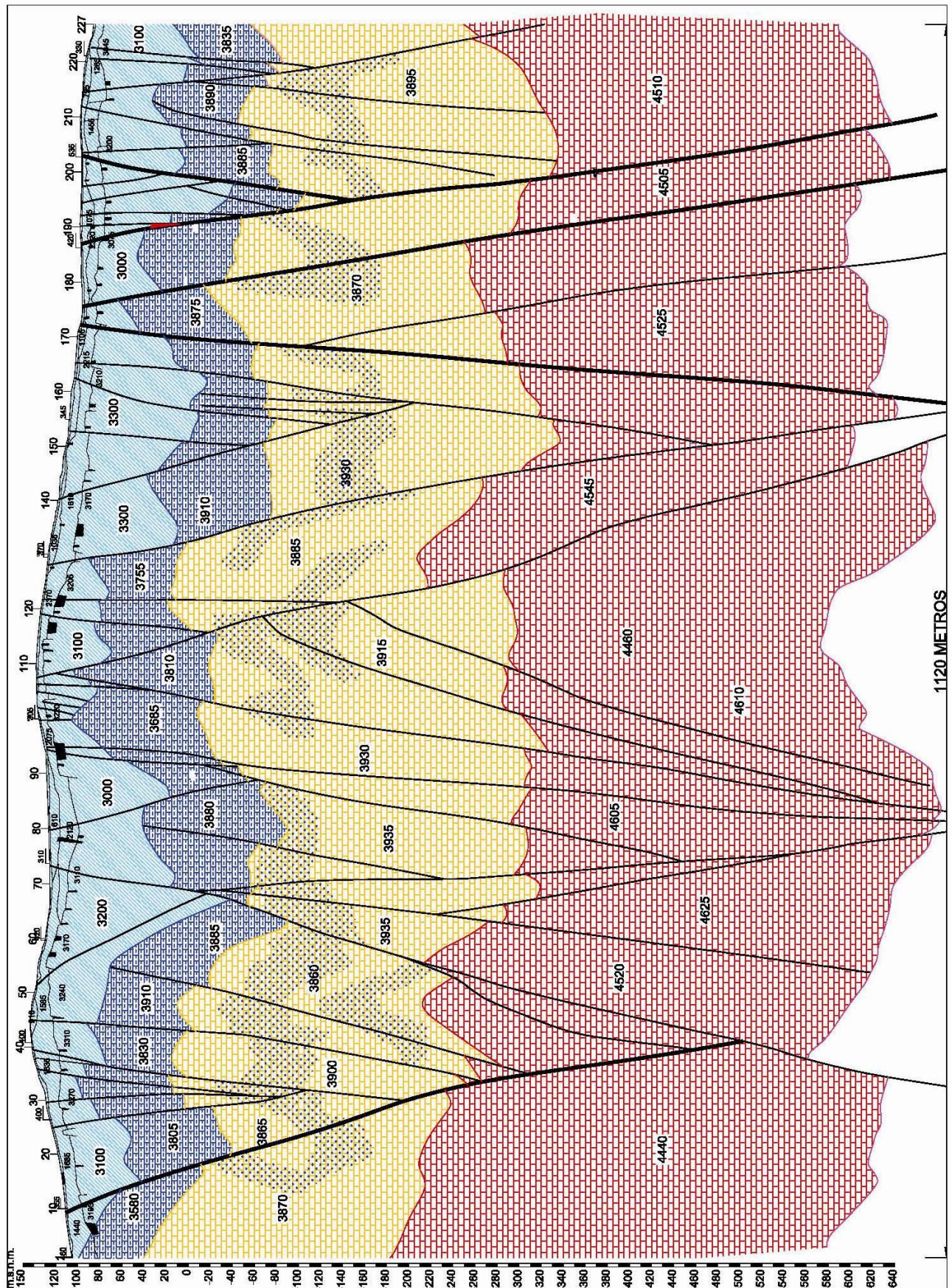


Fig. 2. Ejemplo 1: Corte Geosísmico obtenido.

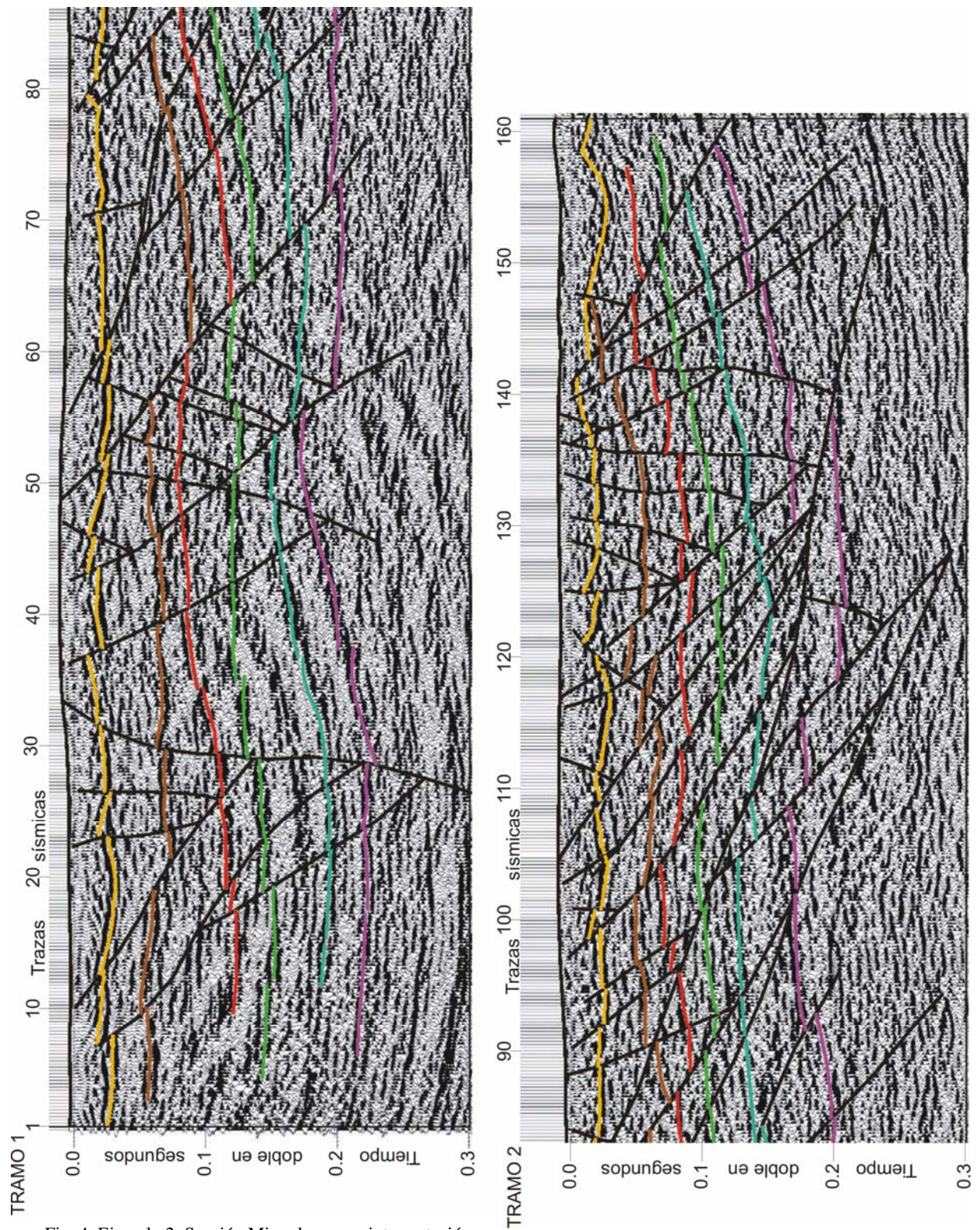
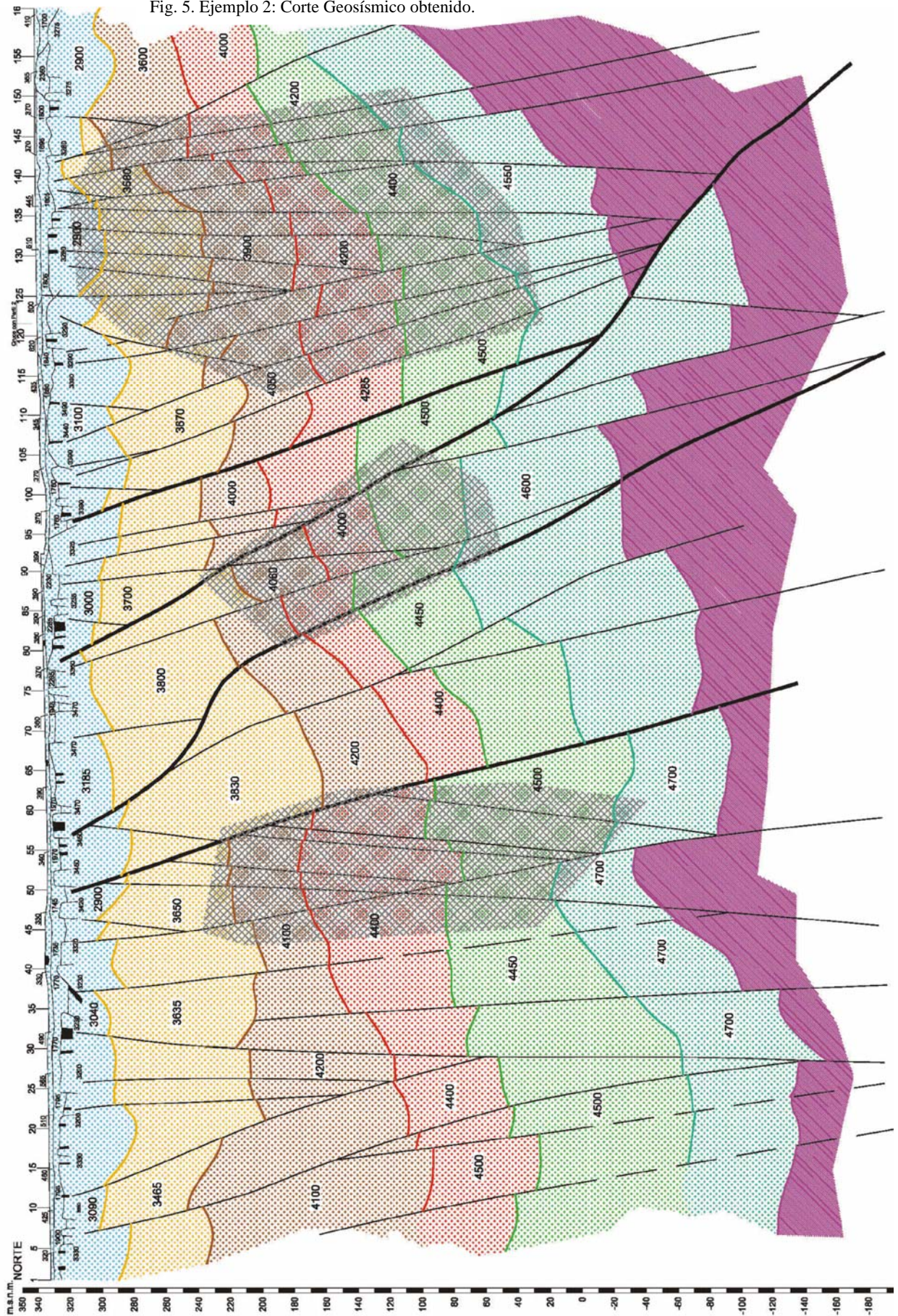


Fig. 4. Ejemplo 2: Sección Migrada con su interpretación.

Fig. 5. Ejemplo 2: Corte Geosísmico obtenido.



Ejemplo 2

Reconocimiento Geofísico mediante Sísmica de Reflexión de Alta resolución de un macizo Granítico para una Captación de Aguas Termales.

En este caso, el objetivo fundamental era la definición de la red de fallas y fracturas existentes en la zona de estudio con el fin de definir la mejor ubicación para un sondeo profundo de captación de aguas termales. Un problema añadido era que la nueva captación no limitara el caudal de las tres captaciones ya existentes, por lo que se realizaron varios perfiles, uno de ellos paralelo al representado en el ejemplo y dos transversales a estos con objeto de tener una visión espacial, lo más ajustada posible, del funcionamiento de la tectónica del macizo granítico y poder identificar cuales eran las fallas que servían de acuífero a las explotaciones existentes.

Actualmente ya se ha realizado una captación de agua con éxito y se está perforando el túnel.

Como ejemplo de la utilización de ésta técnica, solo en los últimos tres años se han estudiado: el trazado de 14 túneles (ferroviarios, carreteros e hidráulicos), el emplazamiento de dos presas, dos estudios hidrogeológicos y el estudio de las zonas deslizadas y las zonas de filtración en dos presas ya construidas.

Referencias bibliográficas

- *- Very high resolution seismic data for geotechnical application to tunnel design and hydrogeology. F. Merchán et al. IV Meeting EEGS Barcelona 98.
- *- High resolution mapping of very shallow seismic reflectors using an efficient portable vibrator system. R. Ghose et al. EAGE 57 th Conference and T.Exhibition. Glasgow 1995.

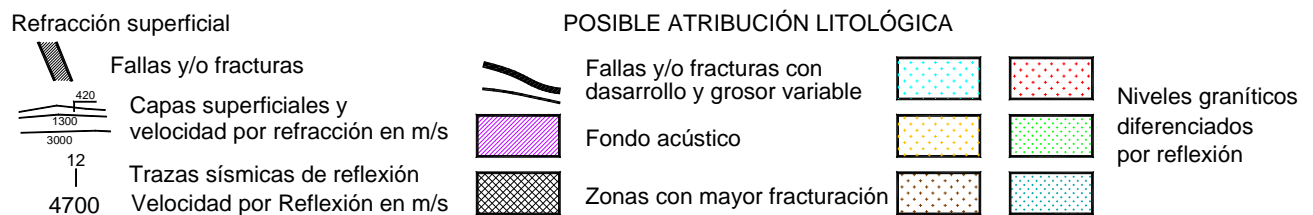


Fig. 6. Leyenda correspondiente al corte geosísmico de la Fig. 5.

Conclusiones

Los dos ejemplos mostrados son solo eso, un ejemplo de lo que la sísmica de reflexión de alta resolución, apoyada con sondeos mecánicos y medidas de velocidad en sondeos, puede aportar en la investigación del subsuelo y la ayuda que puede representar a la hora de diseñar un túnel en sus distintos aspectos o de definir las zonas más idóneas para la captación de aguas subterráneas en una macizo de baja permeabilidad.

- *-G. Henry. 1997. La Sismique réflexion, Principes et développements. Editions Technip.
- Hidrología Subterránea de Emilio Custodio. Ediciones Omega.
- *- Grimstad, E. and N. Barton, 1993, "Updating of the International Symposium on Sprayed Concrete-Modern Use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support, Fagernes, 1993 (Eds. Kompen. Norwegian Concrete Association, Oslo).
- *- Les Vitesses en Sismique Reflexión, J.P. Cordier, Ed. Lavoisier, París, 1982.