

La interpretación automática (por medio de ordenador) en la prospección geofísica. Casos de refracción sísmica y de SEV

Ernesto ORELLANA (*), Mariano HIGUERAS (*), Francisco MERCHÁN (*)
(* ORELLANA CONSULTORES, S. A. (OCSA))

RESUMEN

Se resalta la importancia de una interpretación correcta en la Prospección Geofísica y en la necesidad de que sea efectuada por personal competente y experimentado. Las interpretaciones automáticas obtenidas por ordenador no son aceptables sin más, como se prueba en los ejemplos reales que se dan de SEV y de sísmica de refracción, en los que las interpretaciones automáticas no son aceptables en general, mientras que al tener en cuenta otros datos y consideraciones se obtienen soluciones correctas, comprobadas posteriormente.

Palabras clave: Interpretación automática, SEV, sísmica de refracción, modelos.

ABSTRACT

The importance of a correct interpretation in Geophysical Prospecting, and the need of they being carried out by an experienced and competent personnel, are emphasized. The automatic interpretations by computer are not acceptable in general. This is proved by several real examples of VES and refraction seismics, where in most cases, such interpretations are wrong. Taking into account other data and considerations it was possible to obtain from them correct results, which were confirmed later.

Key words: Automatic interpretation, VES, seismic refraction, models.

1. INTRODUCCIÓN

Desde los primeros tiempos de la Prospección Geofísica surgió el problema de cuál era el modo más correcto para interpretar los datos de campo. Al principio, la interpretación era esencialmente cualitativa y bastante sencilla. En

la mayoría de los casos se trataba de encontrar un máximo o un mínimo; por ejemplo un mínimo de la gravedad o del tiempo de llegada de las ondas sísmicas en el método del tiro en abanico (fan shooting), ambos para la búsqueda de cúpulas salinas. Tales interpretaciones no requerían conocimientos especiales, y la información hallada se limitaba a un «aquí está».

Poco a poco fueron calculándose las anomalías producidas por cuerpos de formas cada vez más complicadas, y por otra parte surgió la necesidad de obtener resultados cuantitativos, por ejemplo, la profundidad de un acuífero o de una formación calcárea en el método de sondeos eléctricos.

Tomando como ejemplo este procedimiento recordaremos que de las curvas de resistividades aparentes por él proporcionadas se obtenían profundidades por sistemas tan sencillos como inseguros, de base pretendidamente empírica. No es este el lugar para comentarlos, pero quizás no esté de más recordar que uno de nosotros (Orellana, 1961) publicó por entonces un artículo atacando estos métodos. Los procedimientos correctos, sin embargo, no estaban muy adelantados, pues aunque Stefanescu (1930) había resuelto el problema directo eléctrico para medios estratificados, su cálculo numérico era lentísimo y tedioso.

La irrupción de los ordenadores produjo cambios enormes en esta situación. Por una parte se pudieron calcular problemas directos de diversos métodos, primero para casos sencillos y luego para otros cada vez más complejos. También fue aumentando la velocidad de cálculo de modo que muchos se realizan ahora en tiempos muy cortos. Más reciente fue la aparición de programas que obtienen una interpretación, esto es, una solución del problema inverso.

Esto lleva a una tendencia a esperar que el ordenador haga todo el trabajo, excepto la toma de datos en el campo. Hemos conocido personas que estaban convencidos de que bastaría introducir los datos de campo en el ordenador para obtener rápidamente la solución adecuada.

2. LA INTERPRETACIÓN

Pero la Prospección Geofísica es una actividad muy compleja, que no puede reducirse al ajuste matemático de unos datos. En ella se recogen datos en la superficie del terreno que dependen de la distribución en el subsuelo de alguna propiedad física: densidad, resistividad, velocidad sísmica, etc.

Para obtener lo más exactamente posible la cartografía del subsuelo es fundamental: la elección del método adecuado y una buena planificación de los trabajos de campo. La primera depende de las circunstancias del problema: si se busca una capa de gravas dentro de arcillas, se produce un contraste de resistividad, que da lugar a la aplicación del método eléctrico; si el objeto es una capa «dura» y sana bajo un recubrimiento de roca alterada y meteorizada, se origina un contraste en la velocidad sísmica, lo que hace adecuado el método de refracción; si se buscan restos de cerámica y fuegos antiguos, se tiene un

contraste de susceptibilidades magnéticas que nos lleva a la magnetometría, etc. Es fundamental pues, la existencia de un contraste de alguna propiedad física entre el objeto buscado y el medio circundante.

Elegido el método, es necesario determinar la distribución y densidad de las mediciones de campo. Si esta planificación es correcta, los datos de campo reflejarán la presencia y posición del objeto buscado. Esta toma de datos requiere el mayor cuidado en su ejecución, ya que es la fase más costosa. Si no se ha efectuado correctamente, será necesario repetirla, lo que resultaría muy gravoso.

A continuación viene la etapa más delicada, que debe efectuarse por geofísicos experimentados y con buen conocimiento de las leyes físicas que intervienen en el método empleado.

Los datos de campo se representan normalmente mediante un gráfico (curva de SEV, dromocrónica, curvas isoanómalas de Bouguer, etc.) que, aunque parece muy simple, contiene mucha información. El problema de la interpretación consiste en, partiendo de estos gráficos sencillos, deducir una información que en muchos casos, es muy compleja, ya que la naturaleza suele ser complejísima.

Para efectuar una interpretación correcta es necesario conocer con el mayor detalle posible el problema que se trata de resolver, las leyes físicas implicadas (como ya se dijo) y la variación de la respuesta del objeto buscada según sea su disposición en el subsuelo.

También es preciso coordinar toda la información geofísica obtenida para evitar discordancias, considerando también la posibilidad de su existencia, lo que puede ocurrir dada la naturaleza geológica de cada caso concreto.

Es fundamental además la utilización de toda la información suplementaria disponible (sondeos mecánicos, catas, información geológica, etc.) de modo que se integren en un conjunto único y bien interrelacionado.

A este respecto, conviene hacer notar que hay empresas y organismos que encargan trabajos geofísicos y que ocultan o se niegan a dar tales datos suplementarios. Este es un proceder infantil, que perjudica en primer lugar a los que así proceden, pues pierden calidad y precisión en la información geofísica que reciben. La información geofísica *siempre* responde a la realidad, y el único problema es el de su interpretación y correlación, que debe encomendarse a personal experimentado y de competencia comprobada. La Prospección Geofísica ha demostrado ya su eficacia desde hace bastantes años. Basta considerar su modalidad más compleja y costosa, que es la sísmica de reflexión para petróleo, sin cuyo empleo es impensable que se emprenda ninguna perforación tanto en tierra como en mar.

Una vez efectuada una prospección, y cuando se ha obtenido nueva información mecánica (sondeos, catas, etc.) es muy conveniente analizar «a posteriori» estos datos, a fin de poder optimizar los resultados obtenidos previamente.

Ya hemos mencionado el impacto de los ordenadores sobre la Prospección

Geofísica. Este efecto se incrementó notablemente cuando surgieron programas aplicables a los extendidos PCs, sin tener que utilizar los ordenadores de gran tamaño que eran necesarios en los primeros tiempos.

Entre los programas disponibles los hay de «interpretación automática», cuyo mal uso puede llevar a grandes errores. Además no debe usarse ningún programa que no tenga «contraprueba», es decir, que una vez hallado un modelo solución, no calcule los datos de campo correspondientes y compruebe su identidad con los realmente observados. En todo caso, la interpretación automática es muy peligrosa, como puede comprobarse en los ejemplos que presentamos a continuación.

3. EJEMPLOS DE INTERPRETACIÓN DE SEV

Hace algún tiempo se efectuó, con fines hidrogeológicos, una prospección por medio de SEV en una cuenca terciaria española, en la que los materiales de esta época se apoyaban sobre calizas cretácicas, las cuales afloraban en algunas zonas mientras que en otras su techo se encontraba a profundidades de varios centenares de metros. El Terciario presenta resistividades de algunas decenas de ohm.m, mientras que el Cretácico toma valores de centenares y a veces más de un millar de dicha unidad.

3.1. Zona de los SEV 51 a 53

Un primer vistazo a las curvas de estos SEV lleva a la conclusión de que las altas resistividades propias de las calizas se encuentran a profundidad mínima en el SEV central, de donde se deduce que debe hallarse sobre una estructura anticlinal.

La interpretación automática del SEV 51 encontró una solución de error cuadrático mínimo (fig. 1a), pero que, a simple vista, parece haber tomado una capa de menos. El número de capas también se determinó automáticamente. Buscando una solución con una capa más (6 capas) se obtuvo la representada en la figura 1b, cuyo ajuste matemático es muy bueno, pero que no obstante da una resistividad final (calizas) de 1417 ohm.m mientras que en el entorno, el Cretácico aparece con resistividades próximas a 800 ohm.m. Imponiendo esta condición se encontró una nueva solución (fig. 1c) que se tomó como definitiva al ser aceptable tanto matemática como geofísicamente. Obsérvese que la profundidad para el techo de las calizas se ha reducido desde los 358 m de la interpretación automática hasta solo 182 m.

La interpretación automática del SEV 52 (fig. 2a) no era admisible para la parte final de la curva, con resistividades anómalas, tan altas como 5394 ohm.m y tan bajas como 8.5 ohm.m. Por estar este SEV próximo a la cresta del anticlinal, se pensó que las resistividades, más bajas, del Terciario a ambos

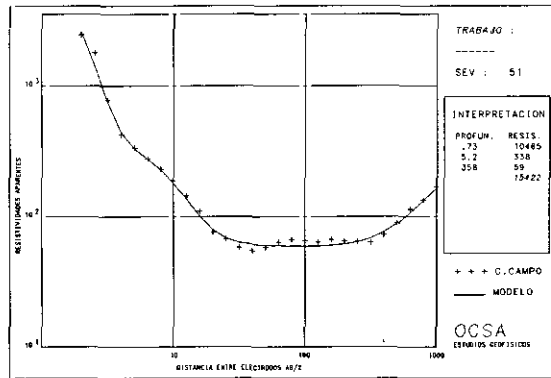


Fig. 1a. Primera interpretación del SEV 51.

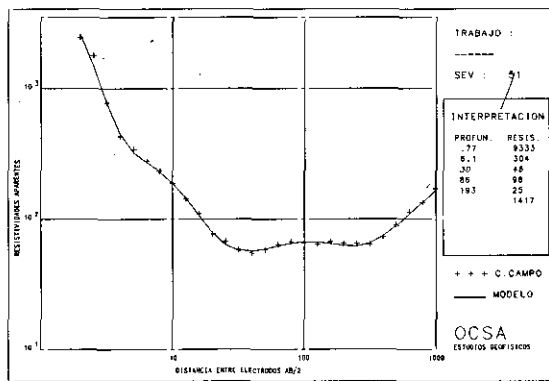


Fig. 1b. Segunda interpretación del SEV 51.

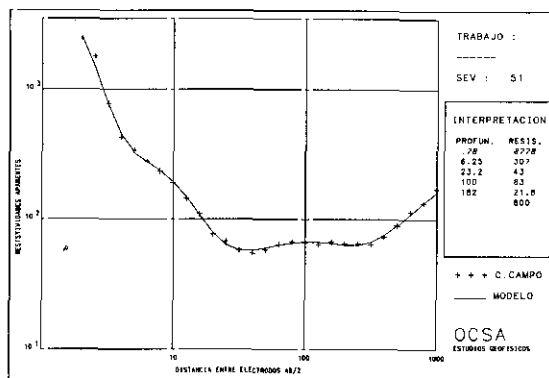


Fig. 1c. Tercera interpretación del SEV 51.

lados del SEV producirían un efecto lateral, al cual serían atribuibles los dos puntos finales, en descenso, de la curva. Eliminados estos de la interpretación se obtuvo la solución representada en la fig. 2b, bastante ajustada desde el punto de vista matemático y de resistividades.

Finalmente, la interpretación automática del SEV 53, fig. 3, era directamente admisible de ambos modos.

La interpretación final de estos SEV se representa en la fig 4.

3.2. Zona de los SEV 69, 70 y 71

Estos SEV están próximos a un afloramiento del Cretácico (SEV 72). La solución automática del SEV 69 es ajustada matemáticamente, pero su resistividad final es demasiado alta (14960 ohm.m)(fig. 5a). Se obtuvo una solución aceptable con 1083 ohm.m para el Cretácico, con lo que la profundidad de éste se redujo de 363 m a sólo 222 (fig. 5b).

En cuanto al SEV 70, la interpretación automática encontró una solución (fig. 6a) de error cuadrático mínimo, inaceptable tanto desde el punto de vista de ajuste matemático como en su resistividad final. Aumentando de 6 a 7 el número de capas, se evitó el primer inconveniente, aunque empeoró el segundo (fig. 6b). Por fin se halló una solución satisfactoria (fig. 6c).

La solución automática del SEV 71 (fig. 7a) no era adecuada ni en ajuste matemático de las curvas ni en los valores de las resistividades. Se tuvo en cuenta que este SEV debería estar afectado por el efecto lateral del Terciario por un lado y el de las calizas cretácicas por el otro, por lo que se buscó una solución eliminando la parte final descendente de la curva, con lo que se llegó a la fig. 7b, cuya resistividad final era enorme. La solución adoptada fue la de la fig. 7c, con resistividad final de 1500 ohm.m.

La profundidad de las calizas que era de 47,1 m. en la solución inicial, se redujo finalmente a 19,2 m.

Al buscar las soluciones de estos últimos tres SEV se procuró además que las profundidades del techo del Cretácico quedaran alineadas, buscando una interpretación geológica coherente, como se aprecia en el corte final representado en la fig. 8.

Puede verse que de las seis interpretaciones automáticas solo una (SEV 53) fue aceptada como válida. La experiencia del interpretador, y la aplicación de criterios de coherencia ha permitido la obtención de soluciones correctas, como lo prueba el hecho de que fueran confirmadas posteriormente por los sondeos mecánicos S-20 y S-22, situados respectivamente en los emplazamientos de los SEV 52 y 70.

Si esta coincidencia no hubiese existido, se deberían intentar nuevas interpretaciones hasta obtener un ajuste óptimo con los sondeos mecánicos y si no se logra hay que buscar las razones para ello y exponerlas en el informe correspondiente.

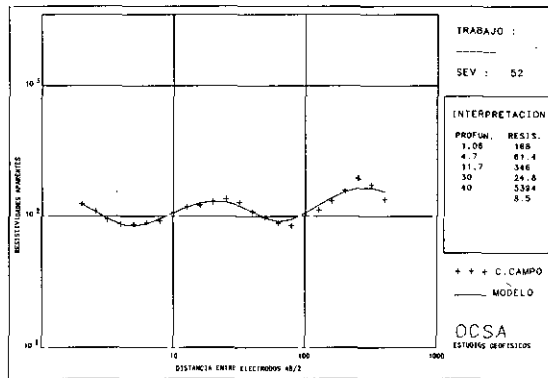


Fig. 2a. Primera interpretación del SEV 52.

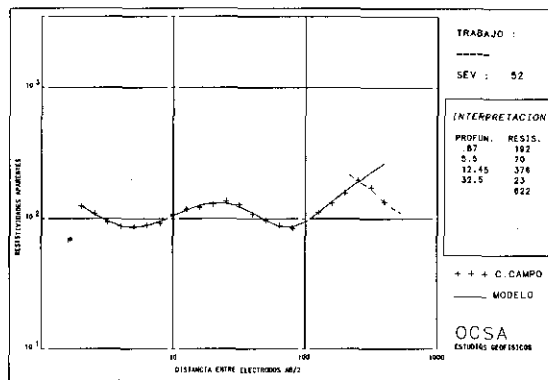


Fig. 2b. Segunda interpretación del SEV 52.

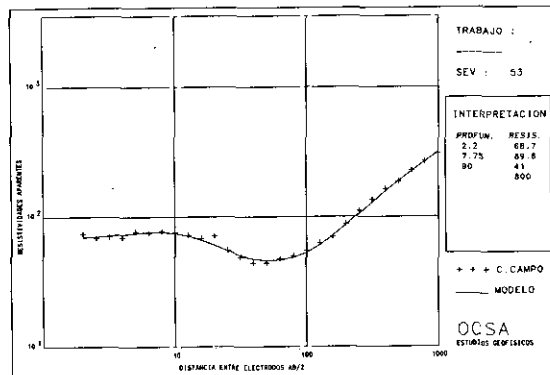


Fig. 3. Primera interpretación del SEV 53.

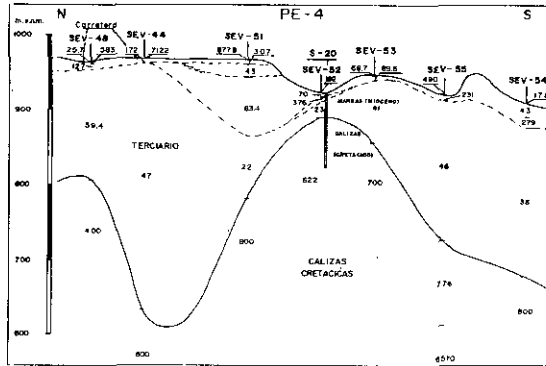


Fig. 4. Corte geoelectrico de la zona de los SEV 51, 52 y 53.

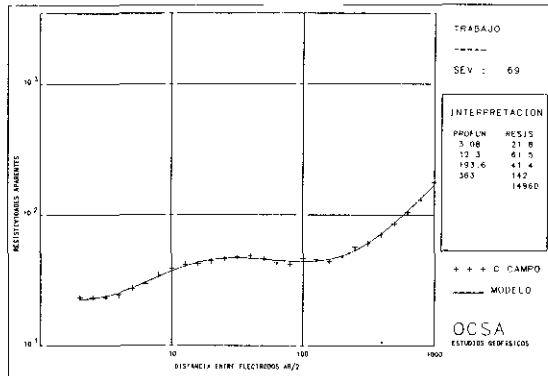


Fig. 5a. Primera interpretación del SEV 69.

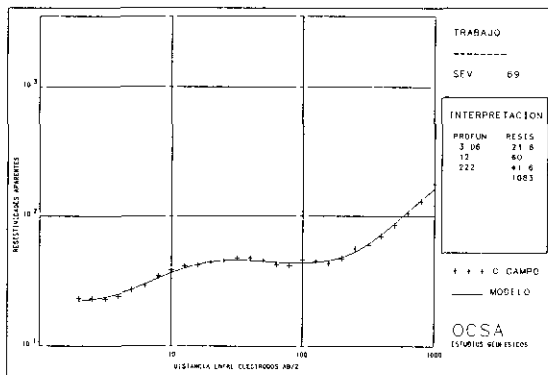


Fig. 5b. Segunda interpretación del SEV 69.

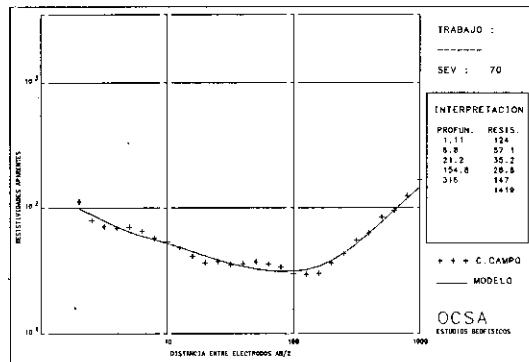


Fig. 6a. Primera interpretación del SEV 70.

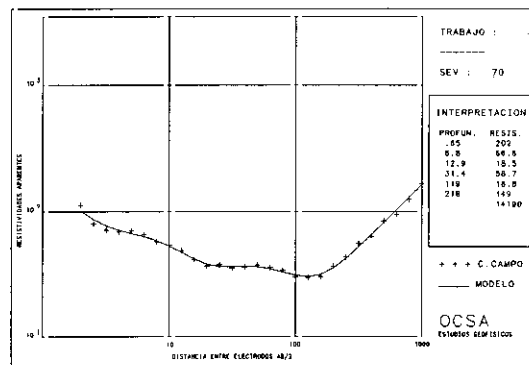


Fig. 6b. Segunda interpretación del SEV 70.

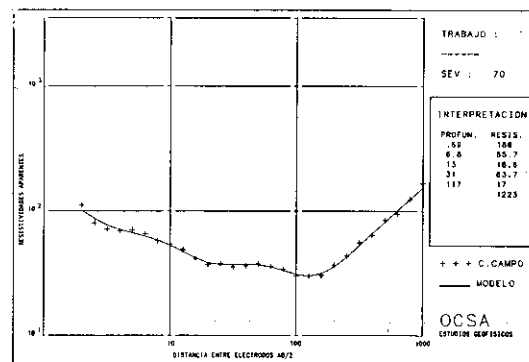


Fig. 6c. Tercera interpretación del SEV 70.

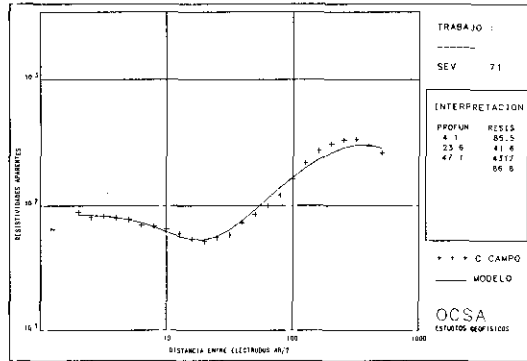


Fig. 7a. Primera interpretación del SEV 71.

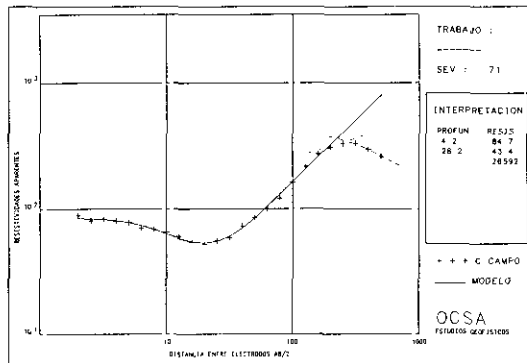


Fig. 7b. Segunda interpretación del SEV 71.

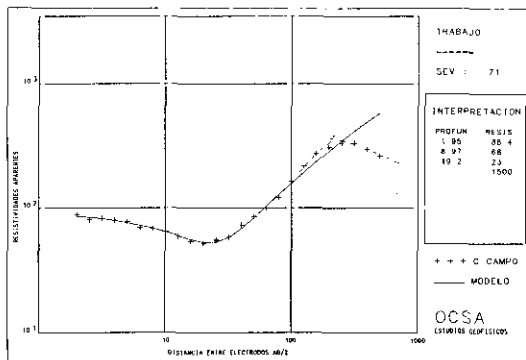


Fig. 7c. Tercera interpretación del SEV 71.

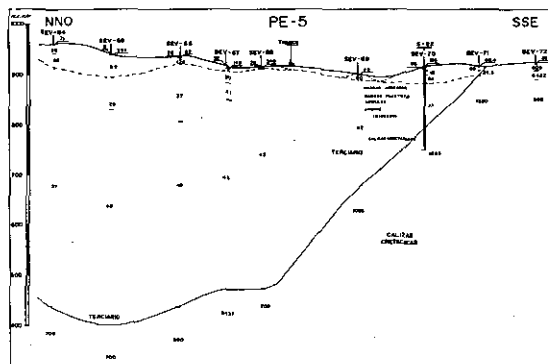


Fig. 8. Corte geoelectrico de la zona de los SEV 69, 70 y 71.

4. EJEMPLOS DE INTERPRETACIÓN DE SÍSMICA DE REFRACCIÓN

La sísmica de refracción para investigaciones hasta 30-40 m se utiliza fundamentalmente para completar las investigaciones geotécnicas del trazado de carreteras y ferrocarriles, para el emplazamiento de presas, etc. Para este tipo de estudios se requiere una información muy detallada, que casi siempre va a estar apoyada y contrastada por sondeos mecánicos.

Estos dos aspectos, gran detalle y correlación con sondeos mecánicos, unido a que normalmente se trata de estudiar zonas muy complejas geológicamente (cuando son sencillas no se requiere el apoyo de la geofísica, y sin embargo pensamos que siempre se deberían tomar datos en distintos puntos, al igual que se hace con las «catas», sondeos mecánicos, etc) hacen que sea necesaria una gran experiencia y especialización técnica para llevar a cabo con éxito este tipo de investigaciones, hasta el grado de precisión que se requiere.

La evolución de esta técnica, tanto en el aspecto instrumental como en los medios y métodos de interpretación, ha sido muy rápida en los últimos tiempos. En el aspecto instrumental tenemos el paso de, determinar el tiempo de llegada de la primera onda P (o de cualquier ruido) en base a unas «bombillas» que se encendían, pasando por los de uno o dos canales con pantalla gráfica y apilamiento de señales, hasta los más actuales de 12-24... canales, con apilamiento de señales, selección y «congelación» individual de cada traza, filtros de alta, baja, notch, IFP, almacenamiento de datos en disquetes, etc.

En trabajos de cierta envergadura (como los mencionados al principio de este apartado) es imprescindible la utilización de equipos de 12 o 24 canales. Si se utilizan sismógrafos de un solo canal, modelo muy usado y único disponible hace unos años, es prácticamente inviable la medición de extendimientos con más de tres tiros. Además, con este instrumental, es necesario que el

operador intuya las dromocrónicas. En estos casos pueden cometerse grandes errores, sobre todo en zonas con ruido, y cuando las llegadas se ven difícilmente y es preciso establecerlas en campo.

Esto obliga a emplear sismógrafos de 12-24 canales, entre otras razones, porque al almacenar los registros de campo en disquetes, permiten una determinación más precisa y correcta de los tiempos de las primeras llegadas, mediante la utilización específica de programas que permiten ampliar, disminuir, filtrar, individualizar, etc., los registros obtenidos.

Las técnicas de interpretación también han sufrido una gran evolución en los últimos años. La divulgación, facilidad de uso y capacidad de cálculo de los PCs ha contribuido enormemente a estos cambios, ya que ha permitido que técnicas de interpretación como el «método recíproco generalizado» de Palmer, el «Plus-minus», etc, se hayan podido programar y así aumentar la rapidez y precisión de la interpretación.

Actualmente existen varios programas de interpretación de sismica de refracción para PCs, de aparentemente fácil manejo y rapidez. Estas dos cualidades son las que dan lugar a grandes y graves errores de interpretación. Una condición indispensable para la utilización de estos programas es que para determinar la profundidad y velocidad de un punto de un refractor, es necesario que dicho punto pertenezca a dos ramas diferentes de la dromocrónica y de sentidos opuestos.

Esto nos lleva a comentar el cambio sufrido en los dispositivos utilizados. Antes el dispositivo más utilizado era el de «ida» y «vuelta», con el cual no es posible utilizar los métodos de interpretación informáticos actuales, debiéndose recurrir a los métodos tradicionales de análisis individual de la ida y la vuelta; un inconveniente añadido es que hay que extrapolar los resultados para cubrir todo el extendimiento, lo que hace inútil la utilización de este dispositivo en zonas con falta de homogeneidad y continuidad lateral.

Posteriormente, se extendió la utilización de dispositivos de medida apoyados en tres tiros: «ida», «vuelta» y «punto central». Con este dispositivo, en la mayor parte de los casos, tampoco se pueden utilizar los métodos modernos de interpretación informática, debiendo recurrirse a los métodos tradicionales y siendo en este caso la extrapolación de datos menor.

La tendencia actual es la utilización de dispositivos más complejos (generalmente similares al descrito anteriormente de «ida», «vuelta» y «punto central», con dos o cuatro tiros exteriores y extendimientos enlazados) que sí cumplen los requerimientos necesarios para poder utilizar los métodos informáticos de interpretación más actuales, y hacen que la interpretación sea más precisa.

Los mayores errores que se cometen en la interpretación con ordenador provienen de:

- A) No buscar una estructura coherente, correcta y completa para las dromocrónicas en su conjunto, antes de iniciar el proceso de interpretación.
- B) No tener un conocimiento suficiente de la geología, de los materiales de la zona y su respuesta a la refracción sísmica.

- C) No intentar por todos los medios encontrar una correlación lo más ajustada posible con los sondeos mecánicos, catas, etc; a veces no es posible y entonces hay que explicar las causas.
- D) Dejando actuar «solo» al ordenador, prácticamente nunca se consigue una interpretación correcta sin el apoyo de la experiencia del intérprete, al ir introduciendo variantes en el proceso de cálculo (muchas veces realizadas recurriendo al método tradicional).
- E) Cuando las estructuras a estudiar presentan cierta complejidad, no hay prácticamente ningún programa de ordenador con el que se pueda conseguir una interpretación completa. Dichos programas sirven en estos casos de apoyo y corroboración de la interpretación final.

En los ejemplos que se muestran a continuación, tomados de investigaciones realizadas para proyectos de trazado de carreteras, se puede observar que:

- A) Cuando hay un contraste apreciable en la velocidad sísmica de los diferentes refractores, se puede llegar a obtener una interpretación que concuerda con los datos de los sondeos mecánicos, catas y geología de la zona (ejemplo 1).
- B) En el ejemplo 2 veremos como la utilización de los diferentes dispositivos de medida comentados mas arriba, pueden dar lugar a interpretaciones incorrectas por falta de datos.

4.1. Ejemplo sísmico 1

Este ejemplo viene representado en las figuras 9a, 9b, 9c y 9d. En dichas figuras en la parte superior aparece con línea continua la dromocrónica resultante de las medidas de campo y con puntos la dromocrónica que corresponde al modelo representado en la parte inferior, es decir, la resolución del problema inverso.

La figura 9a corresponde a la solución obtenida automáticamente por ordenador y como puede observarse su encaje no resulta excesivamente bueno. Actuando sobre este primer esquema e introduciendo algunas modificaciones, se llegó a la solución obtenida en la figura 9b que, como podemos observar, encaja bien y puede tomarse como solución correcta.

Sin embargo, había una razón fundamental para desechar esta solución: la presencia en el geófono 7 de un sondeo mecánico que nos decía que a 3 metros de profundidad se detectaba un granito muy sano, propio de la velocidad encontrada para el substrato con 3300 m/s, mientras que la solución obtenida en la figura 9b nos estaba dando para éste substrato una profundidad de casi el doble (5 metros).

Dado que los contrastes de velocidad entre las distintas capas eran lo suficientemente grandes como para obtener una respuesta adecuada con el método de refracción, era necesario encontrar una estructura coherente con los datos disponibles, que fuera explicada y «soportada» por la dromocrónica. Es

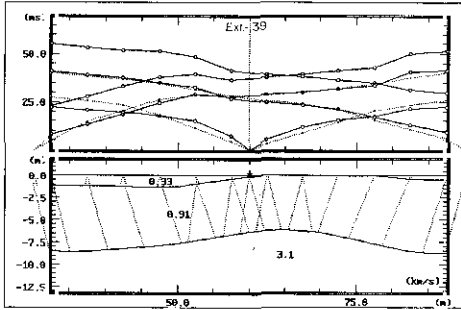


Fig. 9a. Ejemplo 1 de sísmica: Interpretación automática.

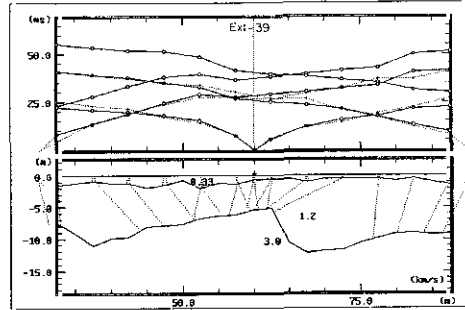


Fig. 9b. Ejemplo 1 de sísmica: Interpretación automática ajustada.

en este punto donde toma mayor importancia el conocimiento del método, de las leyes físicas que lo rigen y la experiencia del interpretador; uniendo estos tres factores se pudo llegar a deducir la estructura representada en la figura 9c, y a partir de ella se obtuvo la interpretación representada en el corte de la figura 9d, después de realizar los últimos ajustes puntuales imposibles de conseguir con ordenador.

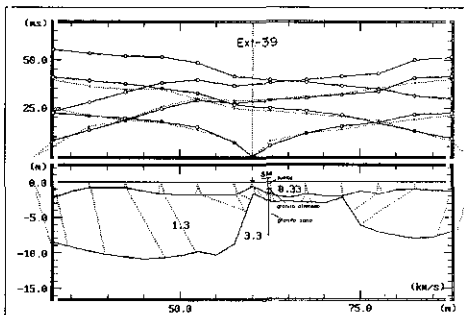


Fig. 9c. Ejemplo 1 de sísmica: Interpretación ajustada al S. M.

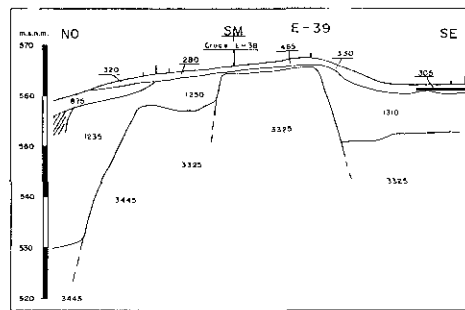


Fig. 9d. Ejemplo 1 de sísmica: Corte sísmico obtenido.

4.2. Ejemplo sísmico 2

Este ejemplo viene representado en las figuras 10a a 12d. En él se ha realizado el siguiente proceso: partiendo de una situación geológicamente complicada (conocida a «posteriori»), que consistía en la existencia de un cambio lateral entre unos esquistos alterados y un coluvial de ladera y la presencia de una fractura, se analizaron las distintas interpretaciones que se podrían obtener utilizando los dispositivos de medida que hemos comentado mas arriba, es decir: «ida» y «vuelta» (figuras 10a y 10b); «ida», «vuelta» y «punto central» (figuras 11a, 11b y 11c); y finalmente «ida», «vuelta», «punto central» y «2 tiros exteriores» (figuras 12a, 12b, 12c y 12d).

En el caso del dispositivo de «ida» y la «vuelta», la interpretación automática no se puede realizar con un mínimo de garantías (no existen suficientes puntos comunes). La interpretación obtenida (figuras 10a y 10b) tiene un alto grado de extrapolación y solamente bajo 5 puntos de geófono (como

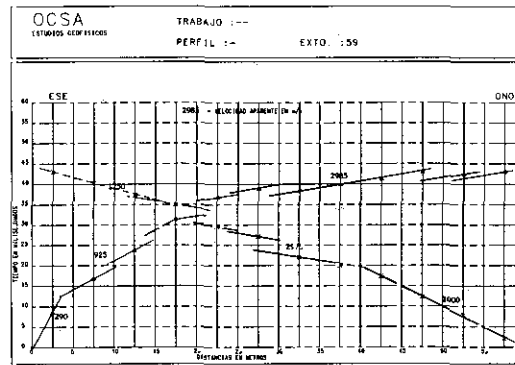


Fig. 10a. Ejemplo 2 de sísmica. Ida y vuelta. Dromocrónica interpretada.

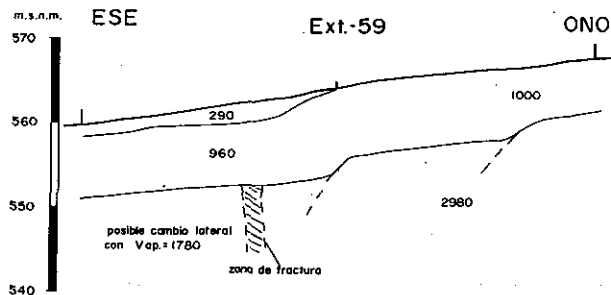


Fig. 10b. Ejemplo 2 de sísmica. Ida y vuelta. Corte sísmico obtenido.

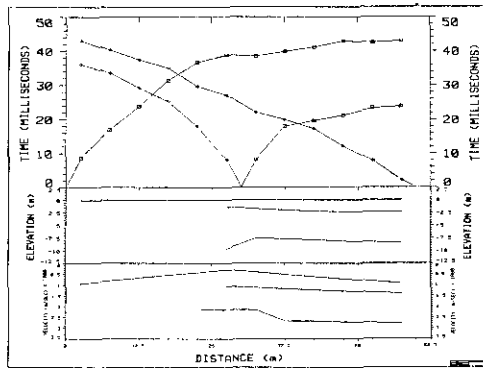


Fig. 11a. Ejemplo 2 de sísmica. Ida, vuelta y punto central. Interpretación con ordenador.

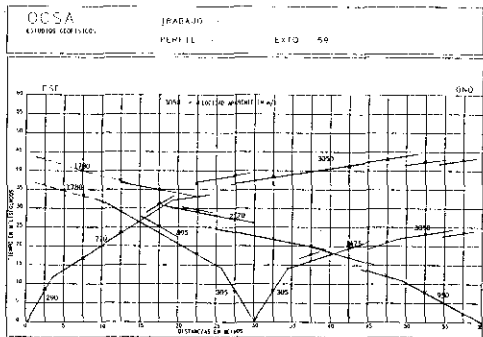


Fig. 11b. Ejemplo 2 de sísmica. Ida, vuelta y punto central. Dromocrónica con interpretación final.

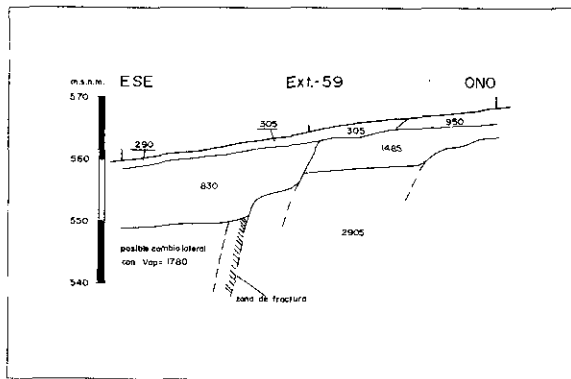


Fig. 11c. Ejemplo 2 de sísmica. Ida, vuelta y punto central. Corte sísmico obtenido.

máximo) tenemos medidas las refracciones procedentes del substrato en dos direcciones opuestas; los demás puntos presentan un gran problema de indefinición y los refractores superiores no presentan ningún punto de cruce. Esto hace que no se pueda detectar el contacto entre el coluvial y los esquistos alterados. Sí se detecta una fractura, pero asociada a un posible cambio lateral en el substrato que no debería de existir según la cartografía geológica de la zona, y finalmente los espesores de la estructura detectada no coinciden con los datos del sondeo mecánico y es imposible obtener una dromocrónica que «explique» esos datos sin un alto grado de fantasía.

La dromocrónica obtenida con el dispositivo de «ida», «vuelta» y «punto central», solo puede interpretarse con algunos programas para ordenador, y aun en estos casos hay que definir previamente una estructura coherente, analizando en datalle la dromocrónica, en caso contrario los resultados pueden considerarse como disparatados; aún así en este caso los resultados obtenidos son claramente insatisfactorios, como puede verse en la figura 11a. La obtenida por tiempos interceptados y distancias críticas (método tradicional), figura 11b, cuyos resultados se reflejan en el corte de la figura 11c, muestran una interpretación que se va aproximando bastante a la definitiva: ya se obtiene el cambio lateral de la segunda capa, al igual que en la primera, pero el substrato todavía es incorrecto en lo que respecta a su velocidad, profundidad, etc.

Finalmente, utilizando el dispositivo de medida completo (5 tiros: «ida», «vuelta», «punto central» y «2 tiros exteriores»), la interpretación automática nos da la interpretación representada en la figura 12a, que como vemos no alcanza un buen grado de aproximación. Partiendo de este modelo, cambiando velocidades y espesores, no se llega nunca a obtener un buen ajuste, por lo que se llega a la conclusión de que el modelo elegido no es el correcto.

Analizando detalladamente la dromocrónica, calculando velocidades parciales, comparando las diferentes ramas de la dromocrónica, etc., se llega a un modelo semejante al de la figura 12b, que es coherente en su conjunto con todas las ramas de la dromocrónica. Introduciendo este modelo en el ordenador y procediendo a su ajuste mediante modificaciones parciales de velocidades, espesores y extensión de las capas, se llega a la interpretación final reflejada en la figura 12b, que ya puede darse casi por buena. Finalmente, realizando una serie de ajustes puntuales, imposibles de conseguir con ordenador, se obtiene la interpretación definitiva que vemos en el corte de la figura 12d, cuya interpretación se ve reflejada sobre la dromocrónica de campo en la figura 12c.

En definitiva, para resolver los problemas geotécnicos mencionados, se deben de utilizar sismógrafos de 12-24... canales (lo mas completos posible), con almacenamiento de datos (en disquete o disco duro transferible), programas especiales de ordenador para determinar los tiempos de las primeras llegadas, y para la interpretación se debe usar de una forma equilibrada los métodos tradicionales y los informáticos modernos.

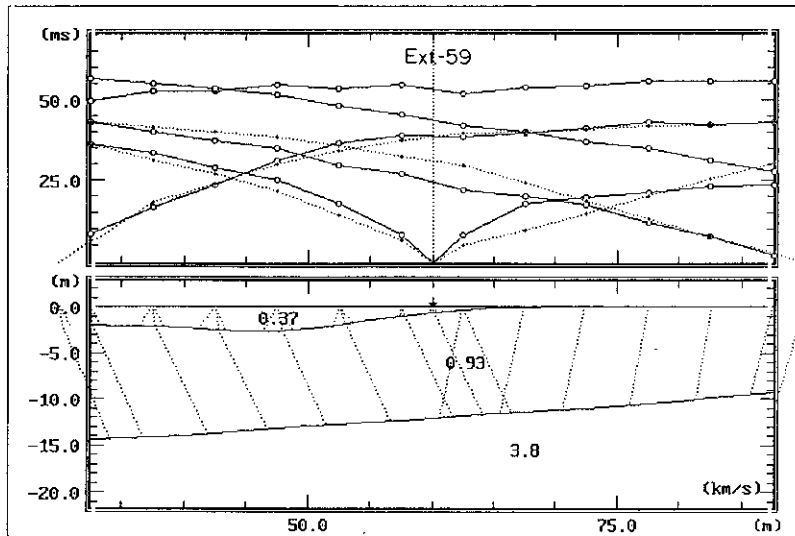


Fig. 12a. Ejemplo 2 de sismica. Cinco tiros. Interpretación automática.

5. CONCLUSIONES

La interpretación automática es una interpretación «a ciegas» que, aunque puede suministrar un ajuste matemático aceptable, puede no ser correcta geofísicamente. Por esta causa tales interpretaciones han de tomarse, en general,

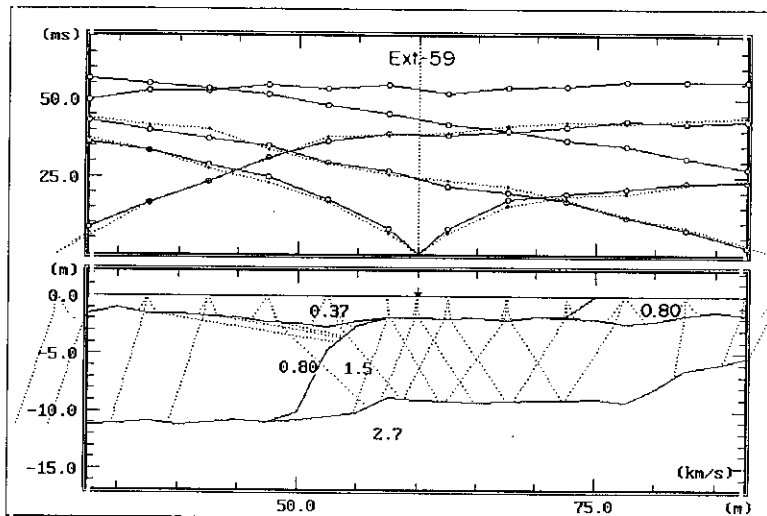


Fig. 12b. Ejemplo 2 de sismica. Cinco tiros. Interpretación con ordenador ajustada.

como puntos de partida para la obtención de soluciones definitivas que se adapten a las circunstancias reales del problema. Ello queda ilustrado mediante los ejemplos anteriores, que corresponden a casos reales no excepcionales.

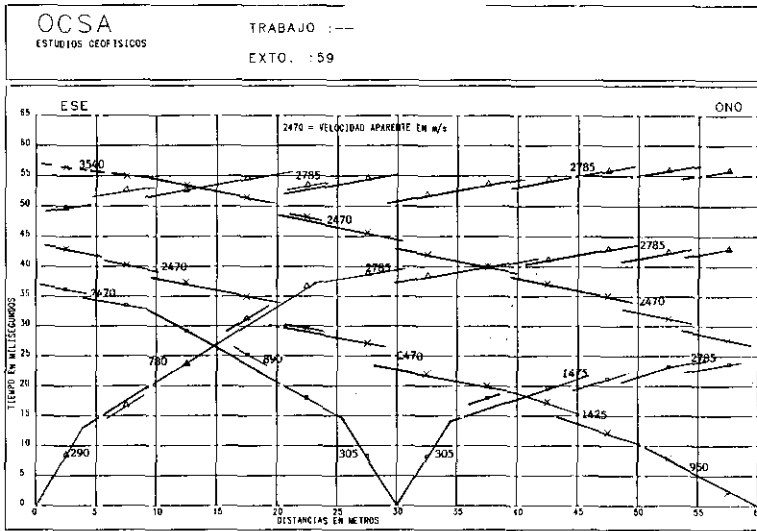


Fig. 12c. Ejemplo 2 de sísmica. Cinco tiros. Dromocrónica con interpretación final.

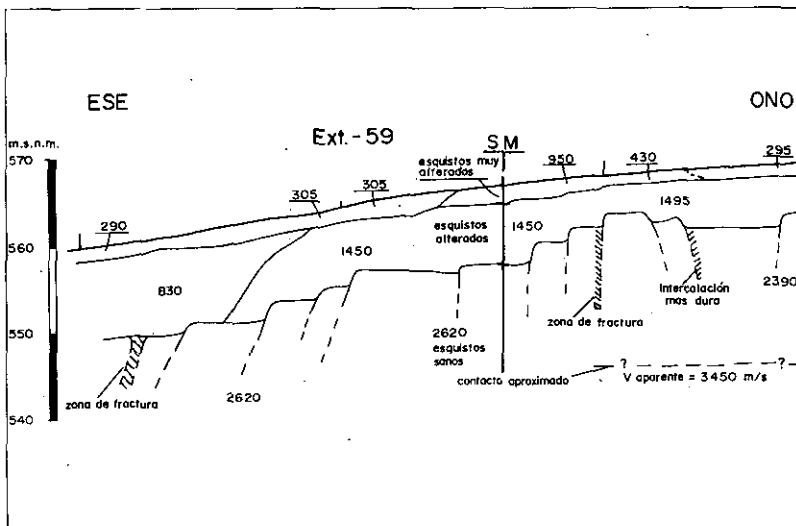


Fig. 12d. Ejemplo 2 de sísmica. Cinco tiros. Corte sísmico obtenido.

REFERENCIAS

- ORELLANA, E. (1961): «Criterios erróneos en la interpretación de sondeos eléctricos». *Revista de Geofísica*, XX, núm. 79, 207-227.
- STEFANESCO, S. S., y SCHLUMBERGER, C. y M. (1930): «Sur la distribution électrique potentielle autour d'une prise de terre ponctuelle dans un terrain à couches horizontales, homogènes et isotropes», *Jour. Physique et le Radium*, vol. I, 132-140.
- KOFOED, O. (1979): *Geosounding Principles I*. Elsevier Scientific Publishing Company.
- PALMER, D. (1980): *The generalized reciprocal method of seismic refraction interpretation*. Society of Exploration Geophysicists.
- SJÖGREN, B. (1984): *Shallow refraction seismics*. Chapman and Hall Ltd.