

6. NUEVAS HERRAMIENTAS

6.1. Televisor acústico

6.2. Microescáner

6.3. Sónico <<Full Waveform>>

6.4. Georadar

6. NUEVAS HERRAMIENTAS.-

Se trata de técnicas especializadas, que realmente no representan una ampliación de la gama en lo que se refiere a los fenómenos físicos en que se basan. Sin embargo la electrónica sofisticada de estos instrumentos, permite el aprovechamiento muy mejorado, de la respuesta en función de las propiedades físicas de las rocas. Las herramientas de esta generación se concentran en métodos acústico-sísmicos y métodos electromagnéticos.

Todas las sondas equipadas con alta tecnología son difíciles en su modo de operación y exigen un gran despliegue técnico. También exigen unas condiciones más estrictas que las convencionales en lo que se refiere a características del sondeo.

6.1. Televisor acústico (Acoustic televiewer).-

Las herramientas acústicas convencionales operan con frecuencias comprendidas entre 10-20 KHz.

Los dispositivos ultrasónicos como el "televiewer" tienen su rango de operación en la escala de varios cientos de KHz llegando a la magnitud MHz. A esta frecuencia la longitud de la onda emitida tiene pocos milímetros, lo que conlleva una variedad notable de

BOREHOLE TELEVIEWER



Fig. 12.- Ejemplo de registro del «televiewer acústico».-

posibilidades de medición siendo las más frecuentes los registros de "imagenes acústicas".

La aplicación de métodos ultrasónicos ofrece características muy positivas en relación con el estudio de la permeabilidad de las formaciones.

La teoría implica la operación en una frecuencia crítica, según la permeabilidad de la formación y la viscosidad de los fluidos. A tal frecuencia es cuando la atenuación de la energía de la onda acústica es máxima y se produce en el intervalo entre 1 y 100 KHz. El sistema registra el grado de pérdida de las fuerzas cohesivas entre fluidos y la matriz de la roca (D. Ellis, 1987).

En ensayos de laboratorio se ha obtenido también buenos resultados en la determinación del tamaño de los granos de la matriz rocosa. Utilizando frecuencias superiores a 1 MHz, el tamaño de los granos es el elemento que controla el mecanismo de pérdida de energía de la onda acústica.

En su aplicación práctica el **televiwer**, también conocido con la abreviación BHTV (bore hole televiwer), se ha utilizado de forma específica para la identificación de zonas fracturadas.

El componente principal de la sonda es el emisor piezoeléctrico que actúa simultáneamente como receptor. El dispositivo opera rotando a elevada velocidad, emitiendo pulsaciones ultrasónicas. La onda emitida se propaga por la solución, siendo reflejada a la pared del pozo y recibida por el receptor. La señal es convertida en una imagen de la amplitud de la señal reflejada o en su tiempo de tránsito (transit time). La presentación final del registro es una proyección planar de la imagen de la pared

del sondeo, según varias formas de representación: En pantalla, la grabación con video y copias sobre papel.

La sonda tiene 3.6 m de longitud y se opera con un avance a muy baja velocidad a lo largo del sondeo.

Las paredes limpias producen fuertes reflexiones y se manifiestan como áreas claras en la imagen. Las irregularidades absorben la señal y son reproducidos en forma de sombras.

El televisor acústico está considerado como la herramienta más fiable para el análisis de fracturas (Keys, 1979, Nelson et al., 1982). Su aspecto más destacable consiste en su capacidad de proporcionar información sobre la localización, dirección, contenido y apertura de las fracturas (Keys y Sullivan, 1979). El conocimiento sobre características del material que rellena las fracturas es de alto interés para estimar la permeabilidad de la zona fracturada. Bajo condiciones favorables el televisor acústico resuelve en el caso extremo fisuras del orden de un milímetro (Davidson et al. 1982). Mediante las imágenes del registro del "transit time" se llega a diferenciar entre fisuras abiertas y colmatadas o cerradas.

No caben dudas de que el televisor acústico es superior a las otras herramientas de testificación si se trata de la investigación en medios compactos donde se desea determinar la fracturación. Sin embargo su aplicación está limitada por varias razones:

- Las operaciones son costosas por la gran cantidad de tiempo que se requiere para la toma de datos y la interpretación de las imágenes.

- Las condiciones técnicas de la perforación deben ser perfectas. La naturaleza del lodo y la infiltración son de poca influencia, aunque las partículas dentro de la solución hacen que el registro sea menos enfocado, debido a la dispersión y reflexión que provocan en la señal.
- Las fracturas completamente selladas no se ven en las imágenes.
- Requiere que la sección del sondeo sea circular.
- Como todo registro acústico, el televiwer únicamente puede ser aplicado en pozos llenos de lodo.
- Los pozos inclinados son muy difíciles de registrar, dado que la sonda debe estar correctamente centrada. (Howard, 1989).

La estimación numérica de la permeabilidad de la formación a partir de las imágenes del televiwer aporta en la práctica malos resultados. Como explicación se asume, que la investigación en un entorno limitado del pozo no es representativa de la red de fracturas del macizo rocoso en su conjunto. En segundo lugar se considera que la interconexión de las fracturas condiciona a la permeabilidad más de lo que lo hace el grado de la apertura de las fracturas individuales (Gale, 1982).

6.2. Microescaner. -

Es un registro de resistividad competitivo, por sus cualidades, en la investigación de capas compactas y se denomina

Formation Microscanner (FMS). Esta herramienta registra la conductividad eléctrica de la formación en su zona inmediatamente próxima al sondeo. Los electrodos se disponen según esquemas semejantes a los de los métodos focalizados, aunque la información que obtienen es más detallada por la gran densidad de lecturas que realizan. Los datos obtenidos se representan como un registro de micro resistividad según una imagen visual que presenta las resistividades de las formaciones en variaciones de gris (Laubach et al. 1988).

Según algunos fabricantes, la herramienta tiene suficiente sensibilidad para resolver fisuración en la escala mínima de un milímetro. La separación entre las fracturas se distingue en las imágenes con una resolución de un centímetro y puede diferenciar entre fracturas abiertas y cerradas.

El instrumento tiene 9.45 m de longitud y un diámetro de 125 mm; dimensiones que limitan su aplicación a perforaciones con un diámetro mínimo de 160 mm (6.25"). Las operaciones con este registro son extraordinariamente caras.

En perforaciones con grandes irregularidades de las paredes, que impidan un buen contacto de los electrodos con la formación, los resultados son difíciles de interpretar (Howard, 1989).

6.3. Sónico «Full Waveform».-

El registro sónico convencional mide el tiempo de tránsito de las ondas compresionales a través de un intervalo unitario de la formación.

Sin embargo la emisión de una señal acústica en el sondeo provoca tres tipos de ondas fundamentales: de compresión, de cizalla y «tube wave» o stonely. Cada una de ellas y todas en conjunto enriquecen la información y permiten la resolución de aspectos tales como:

- Litología y permeabilidad.
- Identificación de contactos geológicos.
- Análisis de fracturas.
- Determinación de módulos y coeficientes mecánicos.

El sistema es capaz de operar en pozos de pequeño diámetro (1'75" a 2'36") a velocidades de unos 3 m/min. siendo una de las características de las sondas su notable longitud (8-10 metros) al objeto de posibilitar la discriminación entre las ondas compresionales y las de cizalla.

Desde el punto de vista instrumental se trata de un sistema sofisticado capaz de registrar todo el tren de ondas a intervalos de algunos centímetros. Al mismo tiempo es necesaria una notable capacidad de procesado de las señales, tanto para la derivación de parámetros físicos como para su presentación. (Crowder et al. 1.991).

Los registros suelen presentarse en forma de logs de densidad variable, proporcional a la amplitud de las señales. En ellos es inmediata la identificación de cambios litológicos y variaciones de permeabilidad.

Respecto a este parámetro son la «tube wave» las

ondas más representativas. Esta señal es un conjunto de ondas de baja frecuencia que se transmiten por el fluido a lo largo de la pared del sondeo. Su amplitud varía inversamente con la permeabilidad (Paillet and White, 1.982).

En consecuencia el análisis de amplitud de estas ondas permite de forma inequívoca la identificación de fracturas permeables en rocas compactas.

Existen diversos ejemplos que establecen de forma firme la relación entre permeabilidad de la formación y amplitud de las ondas «tube» (Mathieu, 1.984), (Paillet, 1.989).

La atenuación de la energía de las ondas «tube» se produce por interacción del fluido entre el pozo y la formación. El hecho de que las zonas de fractura constituyan un medio para tal interacción conlleva una acentuación del fenómeno.

Además de esta aplicación específica respecto a nuestro objetivos, esta técnica es capaz de resolver contactos litológicos y detectar variaciones de permeabilidad en formaciones con porosidad intergranular de forma más efectiva que las combinaciones de registros clásicos. (Keys, 1.989). Consecuentemente es una herramienta aplicable tanto a medios consolidados como no consolidados.

Por ello consideramos que su utilización futura será creciente tanto en el ámbito hidrogeológico como en las aplicaciones de tipo geotécnico. Pese a tratarse de tecnología muy avanzada no es un registro que pueda catalogarse como muy costoso, lo que ha de contribuir a su progresiva utilización en las aplicaciones citadas.

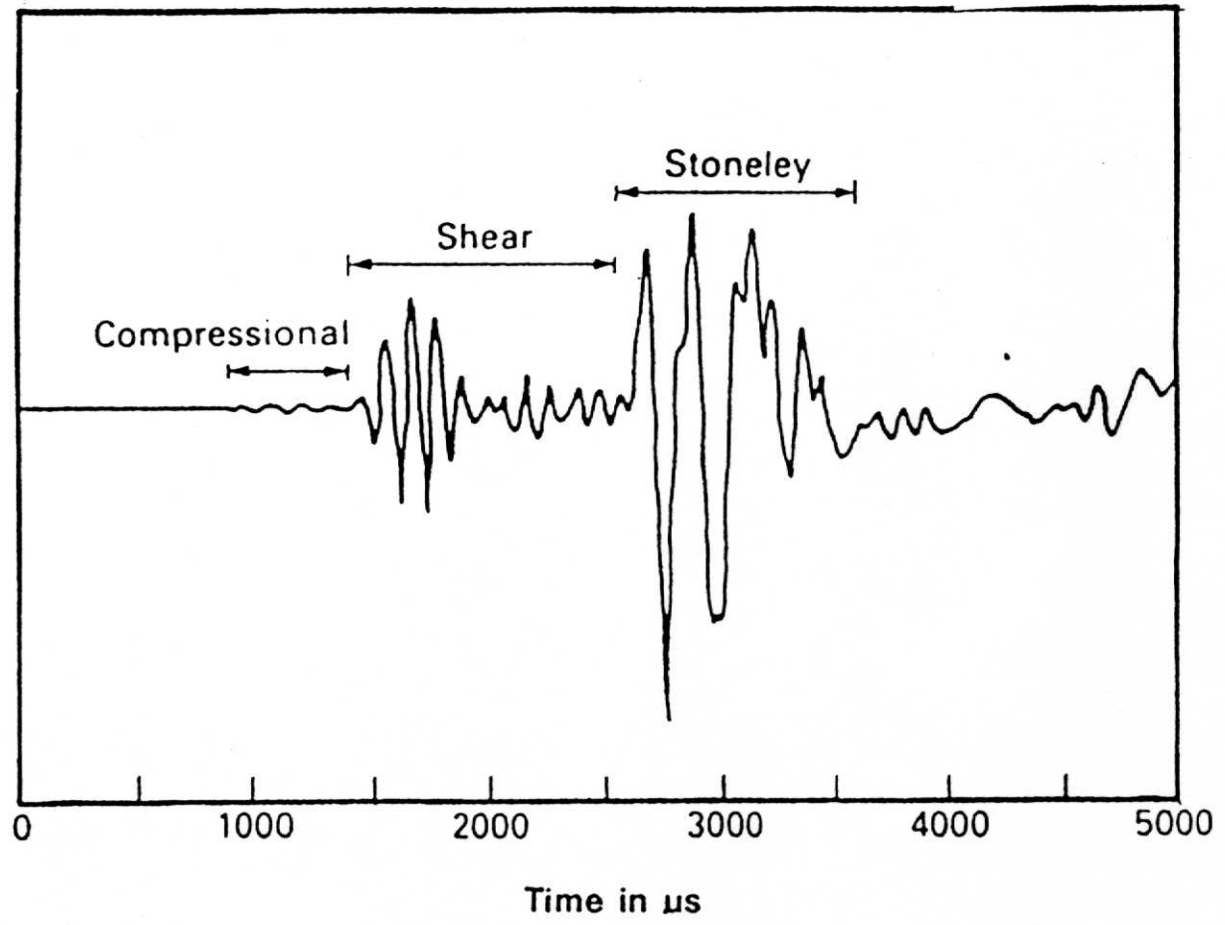


Fig. 13.- Registro acústico con los tres tipos de ondas.

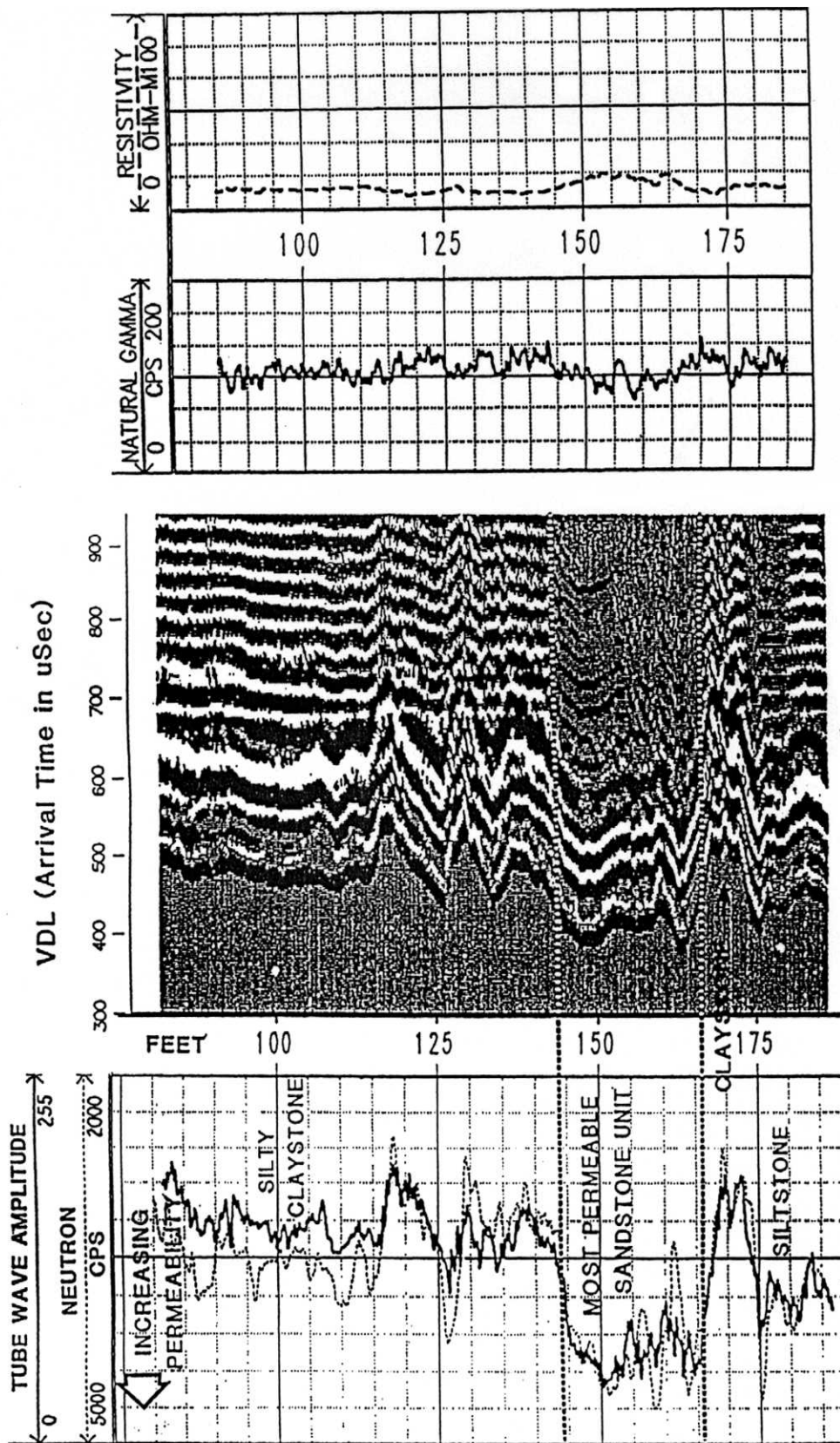


Fig. 14.- Ejemplo de registro sónico de onda completa en relación con logs convencionales.

6.4. Georadar.-

El empleo de las ondas electromagnéticas en forma similar a las operaciones con métodos sísmicos es uno de los métodos de más reciente desarrollo para la investigación de las formaciones rocosas mediante técnicas de testificación geofísica de sondeos, aunque aplicado con anterioridad en su variante de superficie.

Básicamente consiste en enviar a la formación un pulso corto de corriente de alta frecuencia mediante la antena de transmisión. La energía enviada se refleja en la formación y es detectada por la antena de recepción, amplificada y registrada en función del tiempo. La frecuencia de la señal EM se encuentra en el rango entre 10 - 80 MHz.

Los factores que condicionan la reflexión de la señal electromagnética son la permeabilidad magnética, la conductividad eléctrica y la constante dieléctrica. En consecuencia los resultados que se puede obtener con el Georadar dependen de los contrastes de los parámetros anteriores entre la formación y las supuestas zonas anómalas.

En la mayoría de ambitos geológicos es el agua el elemento que representa el mayor contraste en el parámetro de mayor influencia (constante dieléctrica). Por ello el método pone de relieve de forma acusada la existencia de todos los elementos con presencia significativa de agua (fracturas, cavidades, etc).

De modo simplificado se puede decir que la detección de fracturas es el objetivo básico del método del georadar en el estudio de medios rocosos compactos.

La profundidad de investigación en casos extremos puede ser superior a 100 m, si bien debe considerarse de algunas decenas de metros como valor más significativo. En general depende de la velocidad de la onda electromagnética en el medio y de la atenuación de la energía enviada. La absorción de esa energía es una función de la resistividad eléctrica del medio (Oyo, 1984), de modo que es tanto menor cuanto mayor sea la resistividad. Dicho en otros términos la profundidad investigada es tanto mayor cuanto más resistivo sea el medio rocoso.

Una característica importante del método en su estado actual es que su respuesta está condicionada por el volumen rocoso del entorno del sondeo, debido al hecho de que la señal parte radiante de la antena transmisora. Por consiguiente las medidas en un solo sondeo no permiten determinar la dirección y continuidad de las fracturas.

Para la resolución de estos aspectos es precisa la ejecución de registros en un mínimo de tres sondeos próximos y la posterior correlación de los mismos.

La nueva generación de herramientas, a nivel experimental en el momento actual, pretende obtener información de tipo direccional lo que resolvería el problema comentado.

Con el mismo tipo de sonda se pueden llevar a cabo diversas modalidades de operación:

- Down-hole: La antena de transmisión y de la recepción se mueven simultáneamente en el mismo sondeo.
- Cross-hole: La antena de transmisión y de recepción operan simultáneamente, o no, en diferentes sondeos.

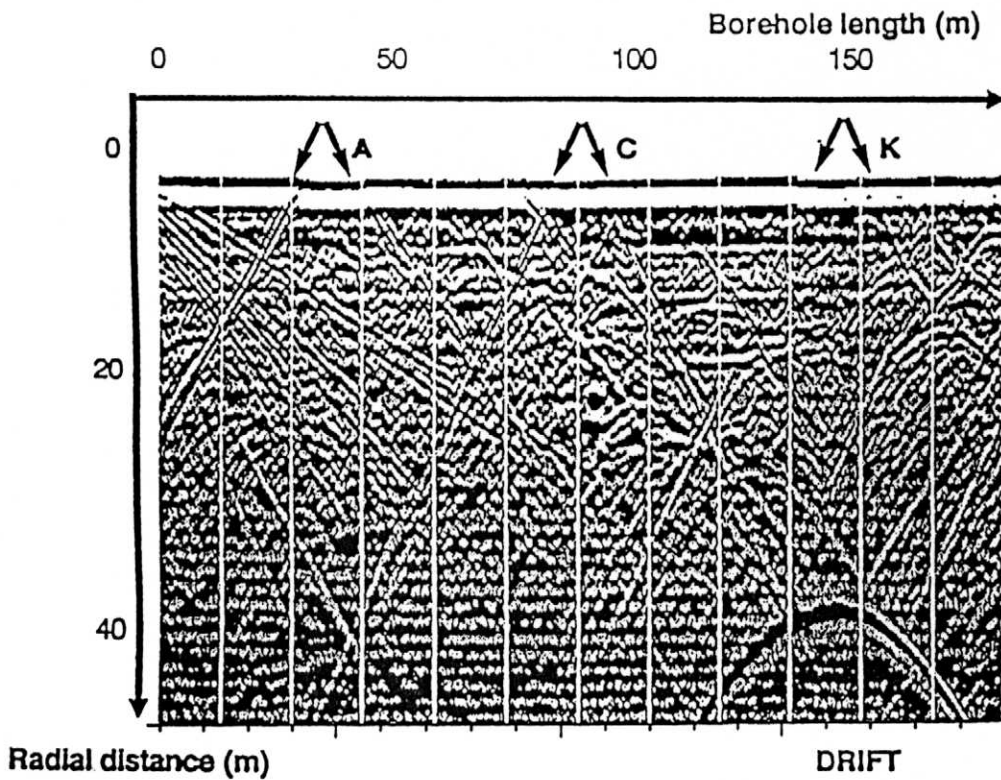
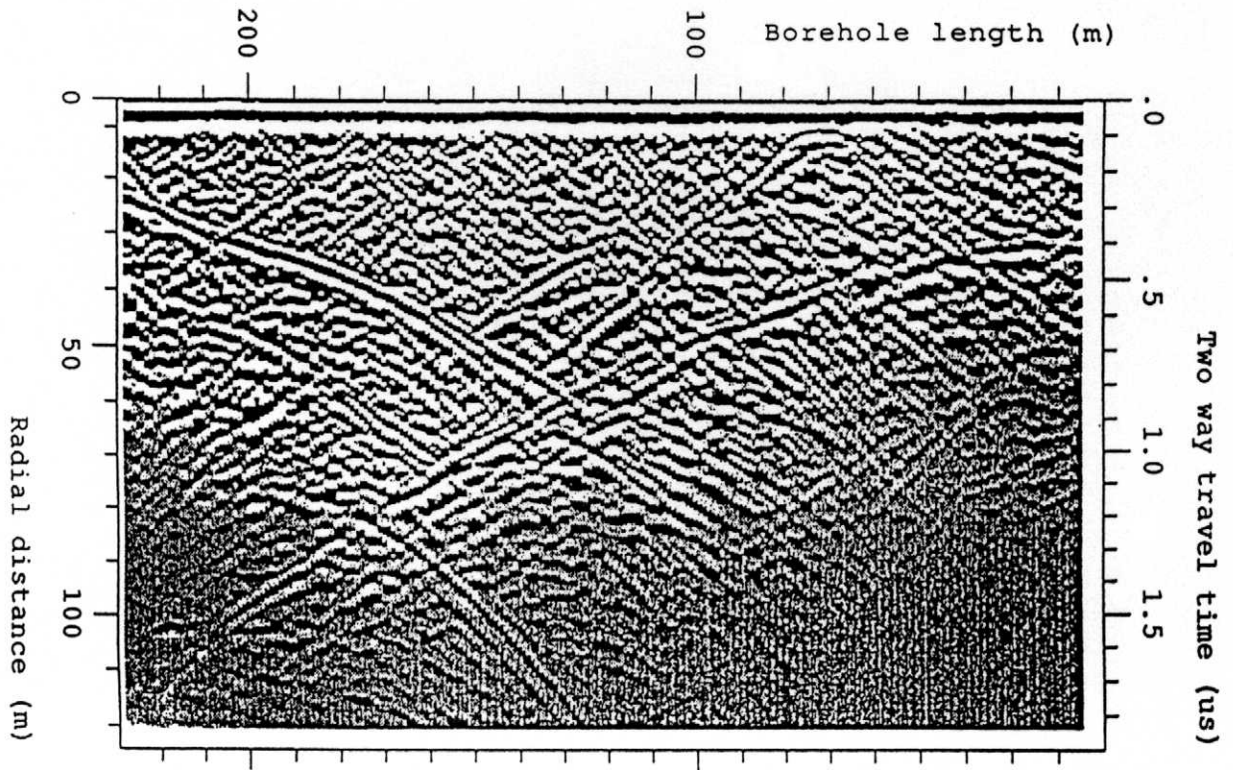


Fig. 15.- Ejemplos de registros del Georadar en sondeos.

- Método de trazadores: Se repite las medidas en el sondeo después de inyectar trazadores salinos que acentúan el efecto de las zonas permeables.

Desde el punto de vista logístico el método no presenta exigencias específicas ya que las sondas son de pequeñas dimensiones y el equipo de registro es prácticamente portátil.