

**8. CRITERIOS PARA ESTABLECIMIENTO DE PROGRAMAS DE TESTIFICACION**

**8.1. Medios sedimentarios no consolidados**

**8.2. Medios consolidados**

## **8. CRITERIOS PARA ESTABLECIMIENTO DE PROGRAMAS DE TESTIFICACION.-**

El estudio de los medios rocosos de baja permeabilidad es un campo muy reciente en la aplicación de técnicas geofísicas y concretamente respecto a la testificación de sondeos. La aplicación tradicional de estos métodos se orientaba justo en sentido contrario: capas porosas y permeables tales como acuíferos y yacimientos de gas y petróleo.

La mayoría de las experiencias para la investigación de los medios de baja permeabilidad, documentados con informes, se han realizado en Canadá, EEUU y en el norte de Europa, la R.F.A., Francia y Holanda. Los criterios para el establecimiento de un programa estándar pueden obtenerse de la recopilación de los informes y estudios de casos prácticos realizados en el extranjero.

La cantidad de información y el beneficio final que se puede esperar de un programa de testificación depende mucho de las herramientas utilizadas, las condiciones de la perforación, los parámetros geológicos de las formaciones a estudiar la experiencia en la interpretación de los datos y el conocimiento de las tecnologías recientes.

La efectividad de un determinado programa de testificación puede valorarse teniendo en cuenta los siguientes elementos (Crowder, 1988):

- Los objetivos del programa y la información deseada.
  
- Las opciones de técnicas para medios consolidados o detriticos, considerando la posibilidad de toma de testigos y el empleo de técnicas complementarias.
  
- las condiciones en la selección del emplazamiento del sondeo y las posibles condiciones del mismo: estabilidad movimientos de fluido dentro del pozo, accesos condiciones temporales, etc.

Las características geológicas de cada zona pueden variar notablemente. En ciertos casos son muy complejas y ello obliga a la obtención de una mayor información para llegar a conclusiones que soporten objetivamente acciones posteriores. Los gastos aumentan rápidamente en el conjunto de un proyecto, si las decisiones iniciales están mal tomadas. Por razón de las configuraciones técnicas de los métodos e instrumentos no existe una ilimitada compatibilidad entre ellos. Cada proyecto tiene características muy determinadas y necesita una correcta selección de los medios que conviene utilizar.

Un estudio del "Environmental Protection Agency" (EPA) que es responsable para este tipo de proyectos en los EE.UU., ha evaluado, que en términos generales al menos el 30% de los pozos de investigación están mal emplazados y que un 10% se ha construido sin tener en cuenta correctamente las condiciones hidrogeológicas de cada zona (Crowder, 1988).

El tiempo de interpretación de los registros se subestima normalmente en la planificación de los trabajos de testificación de sondeos. Se puede decir como regla aproximada, que una hora de adquisición de datos con métodos de testificación geofísica necesita una hora de interpretación.

Un programa completo de testificación conlleva una serie de beneficios adicionales que a priori no forman parte de los objetivos iniciales:

- La testificación geofísica implica la recolección de datos continuos en contraste con el examen puntual de muestras en laboratorio.
  
- Los datos están en general grabados sobre soportes de información que en cualquier momento pueden ser reprocesados y reinterpretados.
  
- La testificación puede aportar una imagen tridimensional, de la distribución de parámetros físicos del medio rocoso, en combinación con métodos de superficie si se dispone de un mínimo de perforaciones.
  
- Existe la posibilidad de estandarizar los registros dentro de diversas etapas de la investigación lo que permite la intervención de varias empresas consultoras simultáneamente o sucesivamente.

Como se ha dicho en párrafos anteriores, las técnicas de testificación de sondeos tienen su origen en la industria petrolífera. Una de las consecuencias de este hecho son las limitaciones respecto al diámetro de la perforación tal como se opera

en aplicaciones a estudios ambientales y la poca profundidad en que se suele investigar, comparado con los sondeos para investigación hidrocarburos. Además los pozos de estudios medioambientales o hidrogeológicos muchas veces no son lo suficientemente estables como para arriesgar la bajada de sondas, que tienen un alto valor económico. En algunos casos, las condiciones de la perforación sólo permite hacer una pasada con las sondas geofísicas. En este caso se debe considerar cuidadosamente la combinación de los registros a realizar, especialmente cuando se requiere el empleo de sondas que operan con fuentes radioactivas.

En este apartado cabe hacer referencia a un aspecto crítico, cual es la disponibilidad de las herramientas. Algunas de las comentadas son muy sofisticadas y solo las poseen algunas compañías extranjeras. Las posibilidades de su empleo para registros en sondeos aislados son muy escasas, no tanto por el alto coste de la operación sino por la dificultad de disponer del equipo necesario en el momento preciso.

La estructura de costes de cualquier programa de testificación viene determinada por los componentes que se relacionan a continuación:

- Puesta en obra y retirada del equipo.
- Tiempo de espera en el sondeo (stand-by).
- Coste por bajada de sondas.
- Coste por registro.
- Procesado e interpretación.

Cada compañía de testificación tiene a su vez catálogos

detallados con precios unitarios para cada uno de los conceptos anteriores, teniendo en cuenta diversos factores adicionales tales como conjunto de registros a realizar, condiciones del sondeo, tipo de procesados e interpretación requeridos, etc.

En todo caso cabe considerar los siguientes tipos de compañías en los que a servicios y costes se refiere.

a)

Compañías típicamente petroleras (tales como Schlumberger), caracterizadas por la utilización de medios muy sofisticados, de alto coste, con exigencias importantes en cuanto a diámetro y condiciones del sondeo. Sus precios para algunas de las aplicaciones hidrogeológicas son muy elevados. Pese a su alta tecnología ocurre que en ciertos casos estas herramientas no son las más adecuadas para la resolución de objetivos en los ámbitos geológicos de baja permeabilidad.

b)

Compañías que operan en el ámbito minero e hidrogeológico con tecnología convencional. En nuestra opinión son las más convenientes, en términos coste/información, para las aplicaciones a que nos referimos en este trabajo. Para optimizar la información que estas compañías pueden aportar es preciso actuar con criterios generosos en el establecimiento de los programas de testificación.

c)

Compañías especialistas en alguna de las técnicas de nuevo desarrollo tales como el Georadar o el Sónico de onda completa. El mayor problema que existe respecto a ellas es la disponibilidad. Sin embargo su capacidad resolutoria es muy alta y su coste aceptable.

El establecimiento de un programa de trabajo está condicionado por la disponibilidad de herramientas siendo éste el factor más crítico ya que las medidas han de realizarse siempre en un intervalo de tiempo muy concreto, al finalizar la perforación.

#### **8.1. Medios sedimentarios no consolidados.**

Aunque la selección de los métodos depende de las condiciones geológicas particulares de cada zona y de los objetivos específicos del proyecto, cabe considerar como objetivos genéricos y métodos a aplicar, los que se indican a continuación.

Los objetivos a resolver pueden ser de los tipos que se indican a continuación, junto con los registros standard que permiten su resolución.

- Diferenciación litológica.
  - . Radiación gamma natural.
  - . Potencial espontáneo.
  - . Resistencia monoelectrónica y/o resistividad.
  
- Estado del pozo y contactos geológicos.
  - . Caliper.
  
- Determinación de porosidad.
  - . Sónico.
  - . Gamma-gamma.
  - . Neutron-neutron.

- Movimiento de fluidos en el pozo.

- . Temperatura.
- . Flowmeter.
- . Conductividad del lodo.

El empleo de técnicas especiales prácticamente se reducirá en este caso al método sísmico con registro de la onda completa. Realizado convenientemente puede en gran medida resolver la mayoría de los objetivos enunciados.

## 8.2. Medios consolidados.-

El objetivo en estos casos se encuentra tanto en la diferenciación litológica como en la determinación o identificación de zonas de porosidad secundaria, concretamente zonas de fractura.

Entre los métodos aplicables se pueden citar:

- Para la diferenciación litológica.

- Gamma natural.
- Susceptibilidad magnética.
- Resistividad.

- Para la identificación de las zonas porosas y cuantificación de la porosidad.

- Gamma-Gamma.
- Neutron-neutron.
- Sónico.

- Para la identificación de zonas fracturadas.

Sónico.

Caliper de alta resolución.

Gamma-gamma.

Resistividad.

- Para apoyo a la interpretación del funcionamiento hidrogeológico del sondeo.

Microflowmeter.

Temperatura.

Conductividad del lodo.

Aparte de estas técnicas que podrían considerarse como convencionales, cabe la posibilidad de empleo de métodos especiales tales como el televiwer acústico, el microescaner o el sónico de onda completa.

En todo caso insistimos en la idea que la resolución de unos u otros aspectos no puede realizarse de forma individual por aplicación aislada de cualquiera de las técnicas señaladas como específicas. Siempre es necesaria la integración de diversos registros complementarios.

Los métodos de nuevo desarrollo son bastante superiores a los convencionales en ciertos aspectos pero no son capaces de resolver el problema de forma aislada. Dado el hecho de que la fracturación está controlada por la naturaleza litológica de las rocas, los métodos convencionales que determinan la litología, juegan un papel importante entre las herramientas de testificación en medios compactos.

Únicamente el análisis completo de la onda acústica se

considera directamente relacionado con la permeabilidad de las formaciones.

Las técnicas como el flowmeter y el gradiente de temperatura que se mide con instrumentos de alta precisión aportan información complementaria muy valiosa al respecto. Están considerados como muy útiles en combinación con ensayos de bombeo en el pozo, que estimulan el movimiento de los líquidos en las formaciones de muy baja permeabilidad global.

Queremos llamar la atención sobre un aspecto importante al establecer un programa de testificación o al requerir su ejecución a una compañías de servicios.

La utilización de fuentes radiactivas para los registros gamma-gamma y neutron-neutron conlleva un riesgo de daños a las personas o de contaminación del medio rocoso y de sus fluidos. Por ello existen regulaciones muy estrictas al respecto; la vigilancia de cuyo cumplimiento compete al Consejo de Seguridad Nuclear.

Es preceptivo que las compañías operadoras dispongan de Licencia vigente de Instalación Radiactiva de 2ª categoría así como de Licencia de Operador y de Supervisor actualizadas (anualmente). Del incumplimiento de estas normas pueden resultar graves responsabilidades tanto para la empresa operadora como para el organismo que encargó el servicio, en el caso de que se produzca algún accidente.

Como síntesis de este capítulo incluimos los dos cuadros de las páginas siguientes. En ellos se trata de dar una visión global respecto a las posibilidades de empleo de las herramientas susceptibles de aplicación para el estudio de los medios de baja permeabilidad.

Hemos de insistir en el hecho de que un mismo registro puede ser de utilidad para la resolución de diversos problemas y que la efectividad de cada registro depende también del conjunto de registros complementarios que puedan emplearse para apoyar su interpretación.

Por ello han de tomarse tales cuadros como una simple guía orientativa, teniendo en cuenta que el establecimiento de cada programa de testificación exige tener en cuenta multitud de factores en cada caso.

**CUADRO Nº 1**  
**RESUMEN DE REGISTROS APLICABLES AL ESTUDIO DE MEDIOS**  
**SEDIMENTARIOS NO CONSOLIDADOS**

		REGISTROS											
		GN	SP	R	$\rho$	N-N	$\gamma$ - $\gamma$	T	C	Soc	Msc	MFM	CAL
<b>OBJETIVOS</b>	<b>LITOLOGIA</b>	X	X	X	X	X	X			X	X		
	<b>POROSIDAD</b>					X	X			X			
	<b>CONDICIONES DEL POZO</b>					X				X	X		X
	<b>FACTORES DE INTERES HIDROGEOLOGICO</b>		X						X	X		X	
	<b>OTROS</b>	X							X	X			

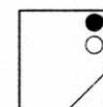
- GN** Gamma natural
- SP** Autopotencial
- R** Resistencia monoelectrónica
- $\rho$  Resistividad
- N-N** Neutrón-neutrón
- $\gamma$ - $\gamma$  Gamma-gamma
- T** Temperatura
- C** Conductividad del lodo
- Soc** Sónico onda completa
- Msc** Microescaner
- MFM** Microflowmeter
- CAL** Caliper

-  — En pozos sin entubar
-  — En pozos con o sin tubería
-  — En pozos llenos de lodo

**CUADRO N° 2**  
**RESUMEN DE REGISTROS APLICABLES AL ESTUDIO DE MEDIOS**  
**CONSOLIDADOS (METAMORFICOS Y CRISTALINOS)**

		REGISTROS												
		GN	R	P	N-N	γ-γ	S	Soc	Atv	CAL	SM	MFM	T	C
<b>OBJETIVOS</b>	<b>LITOLOGIA</b>	X	X	X							X			
	<b>POROSIDAD</b>				X	X	X	X						
	<b>FRACTURACION</b>		X	X	X	X	X	X	X	X				
	<b>CONDICIONES DEL POZO</b>			X					X	X				
	<b>FACTORES DE INTERES HIDROGEOLOGICO</b>							X				X	X	X
	<b>OTROS</b>	X					X							

- GN** Gamma natural
- R** Resistencia monoelectrónica
- ρ** Resistividad
- N-N** Neutrón-neutrón
- γ-γ** Gamma-gamma
- S** Sónico
- Soc** Sónico de onda completa
- Atv** Acoustic televiewer
- CAL** Caliper
- SM** Susceptibilidad magnética
- MFM** Microflowmeter
- T** Temperatura
- C** Conductividad


 ● — En pozos sin entubar  
 ○ — En pozos con o sin tubería  
 — En pozos llenos de lodo