

El descubrimiento de los secretos de la Tierra

Mark A. Andersen
 Editor ejecutivo

Los yacimientos de petróleo y gas yacen en las profundidades de la Tierra. Los geólogos e ingenieros no pueden examinar las formaciones rocosas en sitio, de modo que unas herramientas denominadas *sondas* lo hacen por ellos. Los especialistas bajan estas herramientas en un pozo y obtienen mediciones de las propiedades del subsuelo. Los datos se muestran como una serie de mediciones que cubren un rango de profundidades en una representación que se conoce como *registro de pozo*. A menudo, varias herramientas se corren simultáneamente como una *sarta* de adquisición de registros y la combinación de los resultados resulta más informativa que cada una de las mediciones por separado.

El comienzo de una era

El primer registro de pozo se obtuvo en el año 1927 en el campo Pechelbronn de Alsacia, en Francia. La herramienta, inventada por Conrad y Marcel Schlumberger, medía la resistencia eléctrica de la Tierra. Los ingenieros registraban un punto de medición cada un metro cuando extraían del pozo

la sonda que se encontraba suspendida desde un cable. El registro de datos de los cambios producidos en la resistividad permitía identificar la localización del petróleo.

Hoy en día, los geólogos dependen de conjuntos de registros de pozos para mapear las propiedades de las formaciones del subsuelo (*izquierda, extremo inferior*). Mediante la comparación de los registros de diversos pozos de un campo, los geólogos e ingenieros pueden desarrollar planes de producción de hidrocarburos efectivos y eficientes.

Tipos de registros

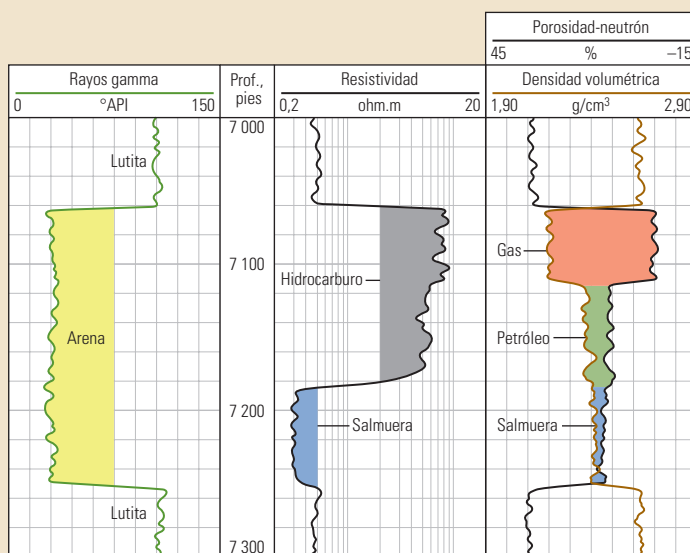
Inmediatamente después de perforar un pozo, las formaciones quedan expuestas a éste. Por consiguiente, es un momento oportuno para determinar las propiedades de las rocas con herramientas de adquisición de registros en *agujero descubierto*. En ciertos casos, especialmente en pozos con trayectorias complejas, las compañías incluyen las herramientas de adquisición de registros como parte del arreglo de herramientas de perforación. Este procedimiento se conoce como adquisición de registros durante la perforación o *LWD*.

Los perforadores habitualmente estabilizan las formaciones mediante la cementación de la tubería de revestimiento metálica en el pozo. El metal de la tubería de revestimiento interfiere con muchas mediciones derivadas de los registros, pero en los últimos 30 años la industria ha mejorado significativamente su capacidad para medir las propiedades de las formaciones e incluso localizar el petróleo pasado por alto detrás de la tubería de revestimiento, mediante el uso de registros obtenidos en *pozo entubado*. Por otro lado, muchas herramientas para pozos entubados miden las tasas de flujo de fluidos y otros parámetros de producción en el pozo o examinan la integridad de la tubería de revestimiento metálica y de su cemento.

El primer objetivo de la adquisición de registros en un área de exploración es la localización de hidrocarburos en un pozo. Luego, la compañía operadora busca determinar si el volumen del recurso presente es suficiente para justificar la terminación y la producción del pozo desde el punto de vista económico. El proceso de adquisición de registros provee los parámetros básicos de *porosidad* (la porción de roca rellena de fluido); *saturaciones* de agua, petróleo y gas, y el espesor de una zona productora de hidrocarburos, o *zona productiva neta* (*próxima página*). Las herramientas de adquisición de registros son calibradas para determinar correctamente éstas y otras cantidades provenientes del yacimiento, de modo que las compañías puedan calcular valores de reservas precisos. La mayoría de las herramientas de adquisición de registros diseñadas para la evaluación de formaciones se basan en mediciones eléctricas, nucleares o acústicas.

Adquisición de registros eléctricos

El petróleo y el gas son más resistivos que el agua salada que rellena la mayoría de las rocas sepultadas en el subsuelo. Los ingenieros crearon dos tipos de sondas eléctricas; ambas miden esa diferencia. Un tipo, el *latero-perfil*, mide la resistividad de la formación mediante la creación de un circuito eléctrico. La corriente circula desde un electrodo de la herramienta, atraviesa la formación y regresa a otro electrodo. El otro diseño utiliza bobinas de *inducción* para medir la conductividad, la inversa de la resistividad.



^ Registro básico. Una combinación común de mediciones derivadas de los registros incluye mediciones de rayos gamma, resistividad, y de porosidad-neutrón y densidad, combinadas en una sarta de herramientas. La respuesta del registro de rayos gamma (Carril 1) diferencia el valor bajo de rayos gamma exhibido por la arena del valor alto de la lutita. La columna siguiente, correspondiente al carril de profundidad, indica la localización de la sonda en pies (o metros) por debajo de un marcador de superficie. Dentro de la formación arenosa, la resistividad (Carril 2) es alta cuando existen hidrocarburos presentes y baja en presencia de salmueras. Tanto el registro de porosidad-neutrón como el de densidad volumétrica (Carril 3) proveen mediciones de la porosidad, si se escalan en forma correcta. En una zona hidrocarbúrfica, una separación amplia de las dos curvas como la que se muestra en esta gráfica indica la presencia de gas.

Traducción del artículo publicado en *Oilfield Review*, Primavera de 2011: 23, no. 1.

Copyright © 2011 Schlumberger.

Por su colaboración en la preparación de este artículo, se agradece a Austin Boyd, Río de Janeiro; Michel Claverie, Clamart, Francia; Martin Isaacs, Sugar Land, Texas, EUA; y a Tony Smithson, Northport, Alabama, EUA.

DEFINICIÓN DEL CONCEPTO DE ADQUISICIÓN DE REGISTROS

Mediciones	Resistividad	Porosidad	Litología	Mineralogía	Saturación	Geometría de los poros	Permeabilidad	Propiedades de los fluidos	Propiedades geomecánicas	Estructura geológica	Estratificación geológica
Resistividad eléctrica											
<i>Lateroperfil</i>											
<i>Inducción</i>											
<i>Microlateroperfil</i>											
Potencial espontáneo											
Propagación electromagnética											
Nuclear											
<i>Rayos gamma-densidad</i>											
<i>Porosidad-neutrón</i>											
<i>Radioactividad natural</i>											
<i>Espectrometría de rayos gamma inducidos</i>											
Resonancia magnética nuclear											
Acústica											
Medidor de buzamiento (echado) y generación de imágenes											
Pruebas y muestreo de formaciones											
<i>Muestreo de rocas</i>											
<i>Muestreo de fluidos</i>											
<i>Pruebas de presión de fluidos</i>											
Sísmica											

La medición proporciona información directa sobre la propiedad del yacimiento.
 La medición es afectada por la propiedad del yacimiento o es sensible a ésta.
 La medición contribuye a comprender la propiedad del yacimiento.

^ Mediciones derivadas de los registros, utilizadas para determinar las propiedades de los yacimientos. Algunas herramientas proporcionan una medición directa de una propiedad del yacimiento (azul) y otras proveen información parcial que se combina con otras mediciones para determinar la propiedad (verde). Por otra parte, las herramientas a menudo son sensibles a una propiedad, si bien no proveen una medición de esa propiedad (marrón).

Los componentes físicos involucrados son similares a los de un transformador eléctrico: una bobina de la herramienta induce un lazo de corriente en la formación que se mide con una bobina captadora de la herramienta. Una zona extensa rellena con hidrocarburos aparece típicamente en un registro eléctrico como más resistiva que una zona adyacente rellena con agua.

Detección de la radiación

El cuarzo y los carbonatos que componen los yacimientos hidrocarbúferos más comunes, poseen baja o nula radioactividad intrínseca. Las lutitas, que a menudo actúan como sellos por encima de los yacimientos, comprenden diversos componentes radioactivos naturales. La mayoría de las sargas de adquisición de registros incluyen una sonda de *rayos gamma* para detectar esta radiación y diferenciar las capas geológicas. Un patrón característico del registro de rayos gamma a menudo se reitera en los registros de los pozos en un área dada. Los geólogos correlacionan estos patrones entre un pozo y otro para mapear las capas geológicas a lo largo del campo.

Algunas herramientas de adquisición de registros utilizan fuentes químicas que generan partículas radioactivas. Las partículas interactúan con la formación adyacente y los detectores de la sonda captan las señales resultantes. La radiación gamma es absorbida en forma proporcional a la densidad de la formación. Otras partículas radioactivas —los neutrones— son absorbidas en forma proporcional al volumen de hidrógeno. Las mediciones derivadas de estos dos tipos de registros pueden ser convertidas a valores de porosidad. Cada uno posee una variabilidad basada en el tipo de roca y el promedio de los dos, es decir un registro de *densidad-neutrón*, puede constituir una buena medición de la porosidad. En presencia de gas, los dos métodos de detección se separan de una manera peculiar que es reconocida como un indicador de gas. Ciertas herramientas contemporáneas utilizan un *generador de neutrones pulsados* que pueden generar neutrones sólo durante la aplicación de potencia.

La composición química de los minerales presentes en una formación puede determinarse con una fuente de neutrones que utiliza la técnica de *espectrometría de captura elemental*. Esta información ayuda a los geólogos a determinar la composición de la roca.

Adquisición de registros acústicos

La velocidad a la que viaja el sonido a través de la roca depende de su composición mineral y su porosidad. Una herramienta de adquisición de registros acústicos o sónicos transmite un pulso acústico a la formación y un receptor situado en otra parte de la herramienta detecta el pulso transmitido. La distancia de propagación del pulso es conocida, de manera que su tiempo de viaje proporciona una velocidad acústica que es proporcional a una medición de la porosidad.

Las propiedades mecánicas de un sólido afectan las propiedades de las ondas acústicas que lo atraviesan. Algunas herramientas sónicas miden estos cambios para cuantificar esas propiedades mecánicas.

Una multitud de mediciones

Los geocientíficos e ingenieros tienen acceso a una amplia variedad de herramientas de adquisición de registros que proporcionan mucho más que la información básica descrita precedentemente. Las herramientas de *resonancia magnética nuclear* obtienen información sobre los tamaños de poros y los fluidos en sitio. Los registros de *imágenes* pueden proveer una alta resolución y una vista de 360° de las diversas propiedades de la formación en la pared del pozo. Otras herramientas pueden llevar muestras de rocas o de fluidos a la superficie o medir las propiedades de los fluidos a medida que éstos fluyen hacia el interior del pozo. En una escala más grande, las mediciones obtenidas con una fuente en un pozo y un receptor en otro indican las propiedades de las formaciones y de los fluidos entre dichos pozos.

El proceso de adquisición de registros requiere tecnología robusta debido a las condiciones rigurosas de los pozos y tecnología de punta debido a las propiedades complejas de los yacimientos. Los científicos utilizan métodos sofisticados para diseñar nuevas herramientas y evaluar los datos que recolectan. Hoy en día, la mayoría de los descubrimientos de hidrocarburos tiene lugar en áreas remotas y su producción a menudo resulta difícil. Estos recursos —y las personas para hallarlos, evaluarlos y explotarlos— son vitales para satisfacer las necesidades energéticas mundiales en crecimiento.