

# GEOFÍSICA

## INTRODUCCIÓN

La geofísica estudia la tierra en su composición y dinámica, sobre la base de medidas de tipo físico que normalmente se realizan desde la superficie del planeta. Cuando este estudio tiene que ver con áreas relativamente pequeñas y profundidades que no sobrepasen máximo unos pocos kilómetros, para obtener un fin económico inmediato, se habla de geofísica aplicada, y el conjunto de métodos para obtener ese fin constituyen la prospección geofísica.

Se pueden inferir informaciones sobre la composición del subsuelo mediante algún parámetro físico medido en superficie, que puede ser la velocidad de una onda mecánica, o variaciones de un campo gravitacional producidas por diferencias de densidad, o la intensidad de una corriente asociada a la mayor o menor facilidad de propagación de las cargas eléctricas.

Los métodos ofrecen una forma de obtener información detallada acerca de las condiciones del suelo y rocas del subsuelo. Esta capacidad de caracterizar rápidamente las condiciones del subsuelo sin perturbar el sitio ofrece el beneficio de costos más bajos y menos riesgo, dando mejor entendimiento general de las condiciones complejas del sitio. Es necesario a menudo utilizar mas de un método para lograr obtener la información deseada.

Para poder aplicar un método geofísico en una prospección, es necesario que se presente dos condiciones importantes:

- que existan contrastes significativos, anomalías que se pueden detectar y medir.
- que estos contrastes se puedan correlacionar con la geología del subsuelo.

## MÉTODOS DE PROSPECCIÓN DESDE LA SUPERFICIE

### *Prospección gravimétrica*

El método esta basado en el estudio la variación del componente vertical del campo gravitatorio terrestre. Se realiza mediciones relativas o es decir se mide las variaciones laterales de la atracción gravitatoria de un lugar al otro puesto que en estas mediciones se pueden lograr una precisión satisfactoria más fácilmente en comparación con las mediciones del campo gravitatorio absoluto.

El método gravimétrico se emplea como un método de reconocimiento general en hidrología subterránea para definir los limites de los acuíferos (profundidad de las formaciones impermeables, extensión de la formación acuífera, naturaleza y estructura de las formaciones del subsuelo).

### *Métodos magnéticos*

La tierra es un imán natural que da lugar al campo magnético terrestre. Las pequeñas variaciones de este campo, pueden indicar la presencia en profundidad de sustancias magnéticas. El método magnético sirve para dar información sobre el basamento y su profundidad particularmente para entornos cristalinos y metamórficos. De igual manera ayudará a estudiar la geología regional y estructural.

### *Métodos electromagnéticos*

Los dos métodos mas utilizados en estudios hidrogeológicos son:

- Very Low Frequency (VLF): Medidas electromagnéticas que permiten delimitar las fracturas o fallas de un acuífero. Particularmente útil en caso de estudio de acuíferos fracturados como los sistemas kárticos.
- Sondeos Electromagnéticos en el dominio temporal (SEDT o TDEM en inglés): El método tienen ventajas sobre métodos electromagnéticos entre otras por su capacidad de mayor poder de penetración que permite obtener información hasta profundidad más altas y a través de recubrimientos conductores.

### ***Sísmica***

Produciendo artificialmente un pequeño terremoto y detectando los tiempos de llegada de las ondas producidas, una vez reflejadas o refractadas en las distintas formaciones geológicas, se puede obtener una imagen muy aproximada de las discontinuidades sísmicas. Estas discontinuidades coinciden generalmente con las discontinuidades estratigráficas.

Los métodos sísmicos se dividen en dos clases:

- El método sísmico de **reflexión** es el más empleado en prospección petrolífera ya que permite obtener información de capas muy profundas. Permite definir los límites del acuífero hasta una profundidad de 100 metros, su saturación (contenido de agua), su porosidad. Permite también la localización de los saltos de falla.
- El método sísmico de **refracción** es un método de reconocimiento general especialmente adaptados para trabajos de ingeniería civil, prospección petrolera, y estudio hidrogeológicos. Permite la localización de los acuíferos (profundidad del sustrato) y la posición y potencia del acuífero bajo ciertas condiciones.

### ***Métodos eléctricos***

Estos métodos utilizan las variaciones de las propiedades eléctricas, de las rocas y minerales, y más especialmente su resistividad. Generalmente, emplean un campo artificial eléctrico creado en la superficie por el paso de una corriente en el subsuelo.

Se emplean como métodos de reconocimiento y de detalle, sobre todo en prospección de aguas subterráneas. Los mapas de iso-resistividad permiten definir los límites del acuífero, el nivel del agua en los acuíferos, la presencia de agua salada y permite la cartografía de las unidades litológicas.

Los métodos geoelectrónicos pueden clasificarse en dos grandes grupos:

- En los métodos **inductivos** se trabajan con corrientes inducidas en el subsuelo a partir de frecuencias relativamente altas (entre 100 Hz y 1 MHz).
- En el caso de los métodos **conductivos**, se introduce en el subsuelo una corriente continua o de baja frecuencia (hasta unos 15 Hz), mediante electrodos.

Los métodos eléctricos de prospección geofísica comprenden variedad de técnicas que emplean tanto fuentes naturales como artificiales, de las cuales son de aplicación más amplia.

### Resistividades

El método llamado de resistividades es, sin duda, en todas sus modalidades el más importante de todos los métodos eléctricos. El 70% de los estudios de geofísica realizados para estudios hidrogeológicos utilizaron los métodos eléctricos.

Este método permite suministrar una información cuantitativa de las propiedades conductoras del subsuelo y se puede determinar aproximadamente la distribución vertical de su resistividad. El método de resistividades permite no sólo el estudio de formaciones subhorizontales, sino también la determinación de formaciones subverticales (fallas, filones, zonas de contacto, etc.).

### Sondaje Eléctrico Vertical

El más importante de los métodos que utilizan corriente continua producida por generadores artificiales es el Sondaje Eléctrico Vertical (SEV). Encuentra su aplicación principal en regiones cuya estructura geológica puede considerarse formada por estratos horizontales. La finalidad del S.E.V. es la determinación de las profundidades de las capas del subsuelo y las resistividades o conductividades eléctricas de las mismas, mediante mediciones efectuadas en la superficie.

### Calicata Eléctrica

La calicata eléctrica constituye una aplicación menos importante de estos métodos, en la que se trabaja con distancia interelectrónica constante. La calicata se emplea principalmente para detectar y delimitar cambios laterales en la resistividad.

### Tomografía eléctrica

Con tomografía eléctrica se entiende la visualización de alguna propiedad eléctrica del subsuelo (resistividad o impedancia general), mediante secciones continuas, generalmente verticales, pero ya se trabaja en tres dimensiones. Esta metodología es intensiva y de alto detalle o resolución y permite no solamente la prospección de los acuíferos, sino que mediante su observación en el tiempo (4 O), se puede ver la dinámica hídrica. Se está usando, por ejemplo en controles de contaminantes.

En el caso de la Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT, electrical resistivity tomography), el subsuelo se considera compuesto por una serie de elementos finitos de la misma forma, aun cuando no del mismo tamaño, cada uno de ellos con la posibilidad de tener diferente resistividad.

### **Otros métodos**

- Resonancia Magnética Protónica (en inglés Magnetic Resonance Sounding - MRS) sirve para medir de manera directa la presencia de agua en las zonas saturadas y/o no saturadas de los acuíferos. El MRS permite estimar las propiedades del acuífero como cantidad de agua, porosidad o permeabilidad hidráulica.
- Geo-Radar o GRP (Ground Penetrating Radar) es un método eléctrico particular utilizando fuentes de corriente alterna donde se usa la reflexión de ondas electromagnéticas de muy alta frecuencia (80 a 500 MHz). Permite, de manera versátil y rápida, la investigación a poca profundidad del subsuelo
- Tomografía electromagnética por radio-ondas. Este método se utiliza para investigar la estructura geológica.
- Métodos magnetoteléurico. Permiten definir los límites de acuíferos, zonas de alta transmisividad, variaciones de permeabilidad y la localización de sistemas de fracturas.
- Polarización Inducida. Este método está basado en el estudio de la cargabilidad del subsuelo. Permite la localización de contaminación por hidrocarburos.

### **Resumen de los métodos más comunes**

En resumen podemos establecer una síntesis de los métodos más utilizados en hidrogeología:

<b>Métodos</b>	<b>Principios</b>	<b>Parámetros obtenidos</b>
Geoelectrico	Conductividad o resistividad eléctrica	Geometría del acuífero (profundidad de formaciones impermeables y estructura del subsuelo), extensión lateral, propiedades de las formaciones (arena-arcilla), salinidad del agua, plumas de contaminación
Sísmica de refracción	Velocidad de propagación de un esfuerzo mecánico	depósitos secos-saturados, espesores de diferentes estratos y detección de zonas de fracturamiento
Sísmica de reflexión	Velocidad de propagación de un esfuerzo mecánico	Zonas de fallas, cartografías de estructuras de recubrimiento
Gravimetría	Densidad	relleno-basamento
Magnetometría	Susceptibilidad magnética	Geometría del acuífero (profundidad de formaciones impermeables y estructura del subsuelo), extensión lateral
Electromagnetismo	Conductividad o resistividad eléctrica y magnetismo	Localización de las áreas más conductivas, detección de fracturas que no afloran en superficie

### **TESTIFICACIÓN GEOFÍSICA DE SONDEOS - DIAGRAFIA**

El estudio geofísico permitirá determinar el mejor sitio para la instalación de un pozo de investigación. Este pozo debe estar situado en la zona mas profundidad del acuífero para permitir obtener una información sobre toda la columna. En el transcurso de la perforación se efectuará el control del lodo, principalmente en lo que tiene relación al peso específico, viscosidad y contenido de arena, el registro de la rata o tiempo de penetración y la toma de muestras litológicas cada metro de avance para el análisis macroscópico.

En forma simultánea, durante la perforación exploratoria se llevará un control continuo de algunos parámetros mediante una sonda.

En una diagrafía se compila todos los datos levantados en un pozo, es decir a lo largo de un corte vertical por el subsuelo. En una diagrafía geológica se compila las propiedades geológicas, mineralógicas y estructurales de los distintos estratos como el tamaño de grano, la distribución del tamaño de grano, la textura y la fábrica de las rocas, su contenido en minerales, su contenido en fósiles, su estilo de deformación.

En una diagrafía geotécnica se compila las propiedades mecánicas de las rocas de un pozo como por ejemplo su grado de resistencia, la tensión de cizallamiento y la cantidad de fracturas por unidad de volumen.

En general una diagrafía geofísica incluye mediciones nucleares, de potencial propio y sísmicas. Las técnicas aplicadas en sondeos se desarrollaron independientemente de los métodos geofísicos empleados en la superficie, pero a partir de los sondeos realizados durante la fase de exploración, donde los métodos geofísicos contribuyen a la correlación estratigráfica y al levantamiento geológico. La diagrafía geofísica comúnmente entrega datos múltiples sacados mediante un único proceso de medición. Estos datos incluyen informaciones

litológicas, estratigráficas y estructurales, indicadores de la mineralogía y de la concentración de las menas y indicadores para la exploración geofísica a partir de la superficie. Los parámetros medidos permiten la determinación de parámetros hidrogeológicos como la porosidad, la permeabilidad, la velocidad y dirección de flujos.

Los métodos geofísicos mas utilizados en hidrogeología son los siguientes:

- Natural gamma ray log o diagrafía de rayos naturales de gamma. Es el metodo mas importante en hidrogeología. Permite obtener información sobre los limites de capas y el contenido de arcillas.
- Potencial espontáneo. Este método se utiliza de manera puntual para resolver los problemas de limites del acuífero o movimiento del agua. Da la conductividad de las formaciones y permite definir la velocidad y dirección del flujo.
- Resistividad corta y larga. Da la conductividad del agua de formación y limites de capas
- Resistividad lateral. Resistividad de las formaciones.
- Conductividad de fluido.
- Verticalidad yacimiento del sondeo.
- Gamma gamma log o diagrafía de densidad detecta la retrodispersión o retrodifusión (backscattered rays) de rayos gamma emitidos por una sonda en el pozo.
- Neutron log o diagrafía de neutrones emplea una fuente, que emite neutrones y un detector correspondiente. Permite obtener la porosidad neutrónica.
- Sondeos de Resonancia Magnética. Da la porosidad y permeabilidad de las formaciones geológicas
- Sónico (de velocidad acústica). Informa sobre fracturación y litologías, especialmente en acuíferos carbonatados, rocas ígneas o metamórficas.
- Temperatura. Permite la identificación de acuíferos, aportes de aguas de diferentes temperaturas, gradiente térmico.

## REFERENCIAS

- Chapellier, D.*, 1987. Diagraphies appliquées à l'hydrologie, Technique et documentation, Lavoisier.
- Dobrin and Savit*, 1988. Introduction to Geophysical Prospecting, 4th Edition, McGraw-Hill.
- Meyer de Stadelhofen, C.*, 1991. Application de la géophysique aux recharges d'eau, technique et documentation, Lavoisier.
- Olmo Alarcón, M., López Geta, J.A.* Ed. 2000. Actualidad de las técnicas geofísicas aplicadas en hidrogeologia. IGME, España.
- Parasnis, D. S.*, 1997. Principles of Applied Geophysics (5th edition), Chapman and Hall.
- Reynolds, John M.*, 1997. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics, Wiley.
- Sankar Kumar, N, Haria Pada, P, Shamsuddin, S.*, 2000. Geophysical prospecting for groundwater, Primera.
- Telford, W.M., L. P. Geldart, and R. E. Sheriff*, 1990. Applied Geophysics (2nd Edition), Cambridge.