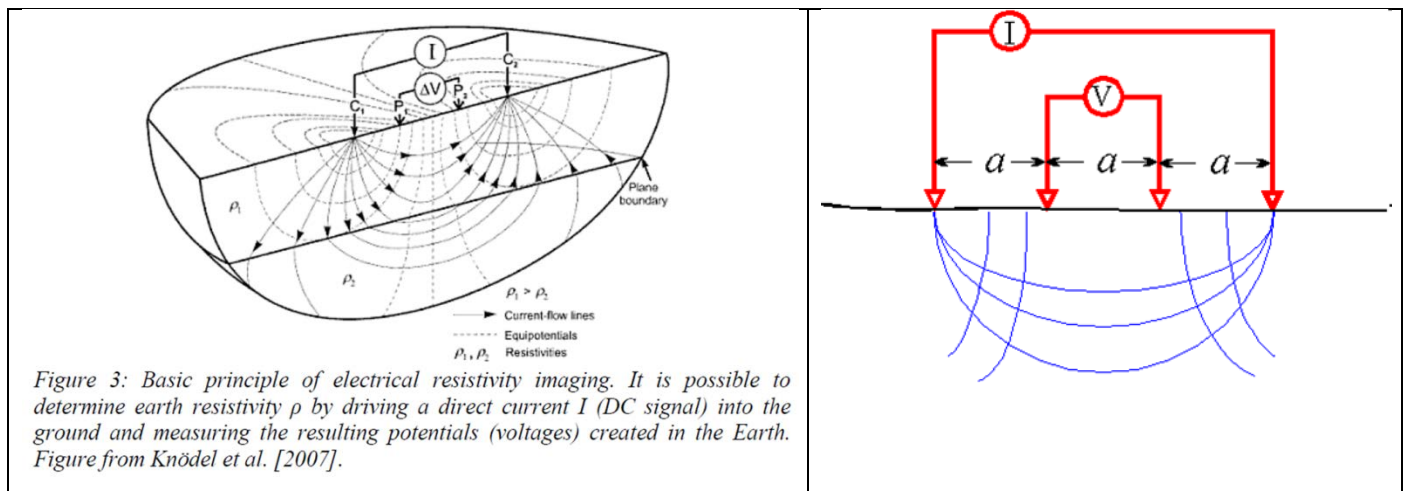


## TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA RESISTIVA

### Introducción y descripción de la metodología usada

El método eléctrico es sin duda uno de los más conocidos de entre las técnicas de prospección geofísica y, a pesar de ser engorroso en su aplicación, representa una solución tecnológicamente válida y robusta en investigaciones hidrológicas someras (<100-150 m de profundidad) en proyectos pequeños y de bajo presupuesto. Entre las modalidades de estas técnicas de investigación, una de las más usadas en investigaciones hidrogeológicas son los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV cuya finalidad es averiguar la distribución vertical en profundidad de las resistividades aparentes bajo el punto sondeado a partir de medidas de la diferencia de potencial en la superficie. Se utiliza sobre todo para detectar y establecer los límites de capas horizontales de suelo estratificado (Figura 1).



**Figura 1.** Esquema descriptivo del principio de funcionamiento de un SEV. A medida que los electrodos de potencia C1 y C2 se separan, la corriente va penetrando en las capas más profundas del suelo

**Figura 2.** Resistividades y conductividades eléctricas de diferentes materiales

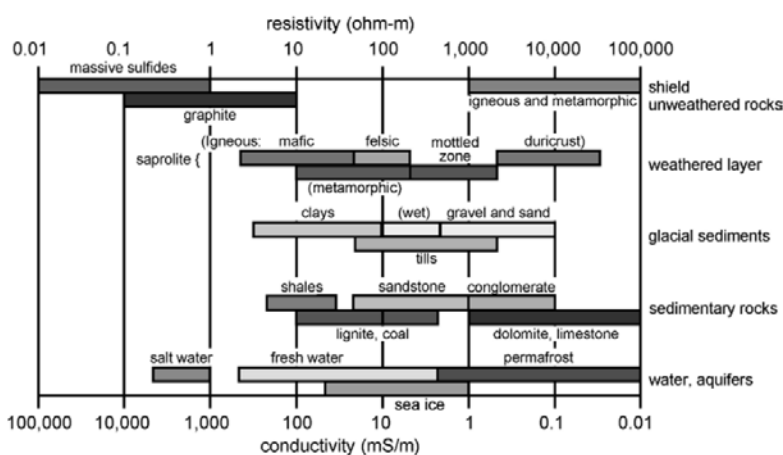
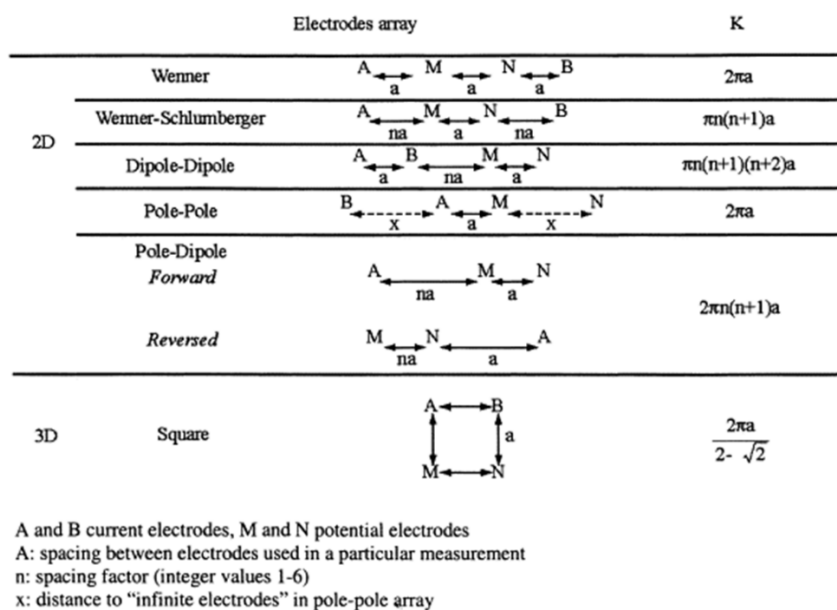


Figure 7: Typical ranges of electrical resistivities of Earth materials after Palacky [1987].

Este método está basado en las diferentes resistividades, esto es, la dificultad característica de los materiales a la circulación de la electricidad a través de ellos, que presentan los materiales geológicos existentes en la zona de prospección. La resistividad en los materiales naturales varía desde  $10^{-8}\Omega.m$  en los metales nativos hasta  $10^{15}\Omega.m$  en micas (perpendicularmente a la foliación). Los valores de la resistividad en una roca están determinados más que por su composición mineralógica, por el agua que contienen, fundamentalmente por la porosidad y por la salinidad del agua (más salinidad implica mayor conductividad). Todo ello, hace que la resistividad de cada tipo de roca presente una gran variabilidad. Sin embargo, conociendo previamente las geologías existentes en un área, las principales diferencias relativas de resistividad medidas durante una prospección geofísica van a ser debidas generalmente a la mayor o menor presencia de agua en el subsuelo.

En las distintas configuraciones de adquisición existentes, dos electrodos son usados para inyectar una determinada intensidad de corriente en el suelo (electrodos A y B) y dos electrodos para medir la diferencia de potencial (electrodos M y N). La correlación entre la corriente inyectada, la diferencia de potencial medida y un coeficiente geométrico relativo a la disposición de los 4 electrodos determina el valor de la resistividad aparente en el sitio. Este valor de resistividad aparente corresponde a una cierta profundidad, función de la separación entre los electrodos (y configuración usada).



$$\rho = \frac{\Delta V}{I} K$$

**Figura 3.** Diferentes tipos de disposiciones de electrodos ( $\rho$  resistividad eléctrica,  $\Delta V$  diferencia de potencial,  $I$  intensidad,  $K$  factor geométrico)

	Wenner	Wenner-Schlumberger	Dipole-dipole	Pole-pole	Pole-dipole
Sensitivity of the horizontal array	++++	++	+	++	++
Sensitivity of the vertical array	+	++	++++	++	+

<b>Depth of investigation</b>	<b>+</b>	<b>++</b>	<b>+++</b>	<b>++++</b>	<b>+++</b>
<b>Horizontal data coverage</b>	<b>+</b>	<b>++</b>	<b>+++</b>	<b>++++</b>	<b>+++</b>
<b>Signal Strength</b>	<b>++++</b>	<b>+++</b>	<b>+</b>	<b>++++</b>	<b>++</b>

*The labels are classified from (+) to (++++), equivalent at poor sensitivity to high sensitivity for the different array configurations.*

**Figura 4.** Ventajas e inconvenientes de las diferentes disposiciones de electrodos.

En referencia a la profundidad efectiva de la medida según Edwards (1977) y Barker (1989), ésta sería la profundidad a la cual la mitad de la señal medida en la superficie es debida a la porción de suelo superior a esa profundidad y la otra mitad de la señal a la porción de suelo inferior.

Las profundidades de investigación efectiva para los diferentes esquemas de medida en un medio homogéneo son:

Wenner	0,17·L
Schlumberger	0,19·L
Doble dipolo	0,25·L

Siendo L la separación máxima entre los electrodos.

### Tomografía eléctrica resistiva

Un modelo más preciso del subsuelo es un modelo bidimensional (2D) donde la resistividad cambia tanto en la dirección vertical como en la dirección horizontal a lo largo del transecto investigado. En estos casos, se presume que la resistividad en la dirección perpendicular a la línea del sondeo no varía. En muchas situaciones, particularmente para detección sobre cuerpos geológicos, niveles freáticos o anomalías elongadas, es una suposición muy razonable.

Uno de los nuevos métodos desarrollados en años recientes es el uso de la Tomografía Eléctrica 2D, que pueden obtener mejores resultados en áreas con geología / anomalías moderadamente complejas. Tales mediciones se efectúan comúnmente usando un número grande de electrodos (25 o más) conectados a un cable multi-núcleo. Una resistivímetro portátil junto con un conector electrónico se usa para automáticamente seleccionar los cuatro electrodos correspondientes para cada medida (Figura xx). En la actualidad, tanto el equipo como las técnicas de campo para efectuar sondeos de resistividad 2D están bien desarrollados.

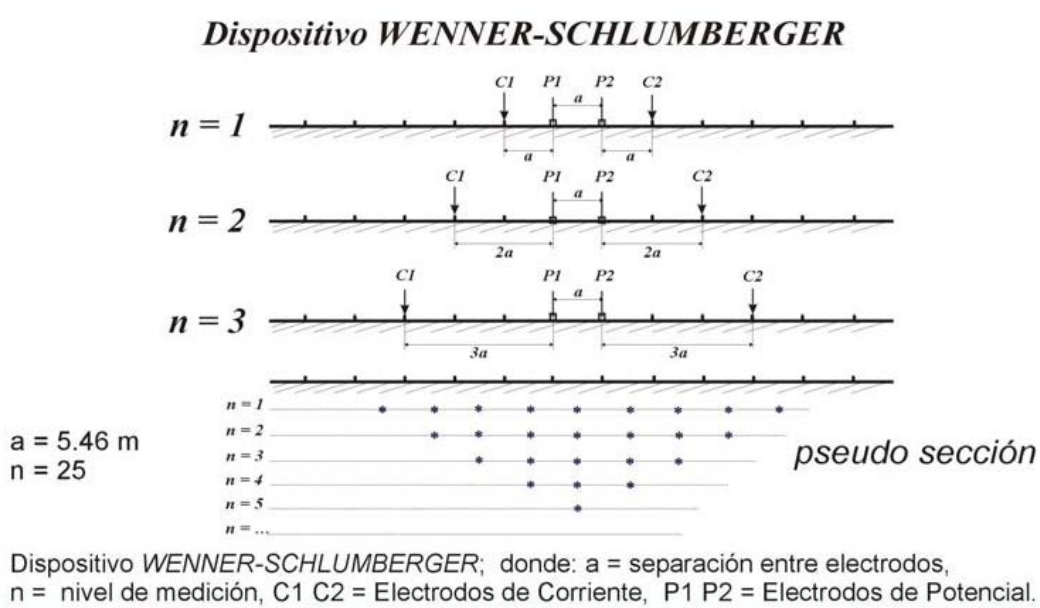
En nuestro caso se empleará un resistivímetro ABEM SAS 1000 con un selector de electrodos

La figura 5 muestra la distribución típica para un transecto 2D con un gran número de electrodos a lo largo de una línea. Normalmente se usa una distancia interelectrónica constante entre los electrodos adyacentes.

En este ejemplo(figura 5), el espaciamiento entre electrodos adyacentes es "a". Para la primera medida, se usan los electrodos 1, 2, 3 y 4. Destacar que se usa el electrodo 1 como electrodo de corriente C1, el electrodo 2 como el electrodo de potencial P1, el electrodo 3 como electrodo 10 de potencial P2 y el electrodo 4 como el segundo electrodo de corriente C2. Para la segunda medida, se usan los electrodos 2,

3, 4 y 5 para C1, P1, P2 y C2 respectivamente. Esto se repite sobre la línea de electrodos hasta que se utilizan los electrodos 17, 18, 19 y 20 para la última medida con espaciamento "1a".

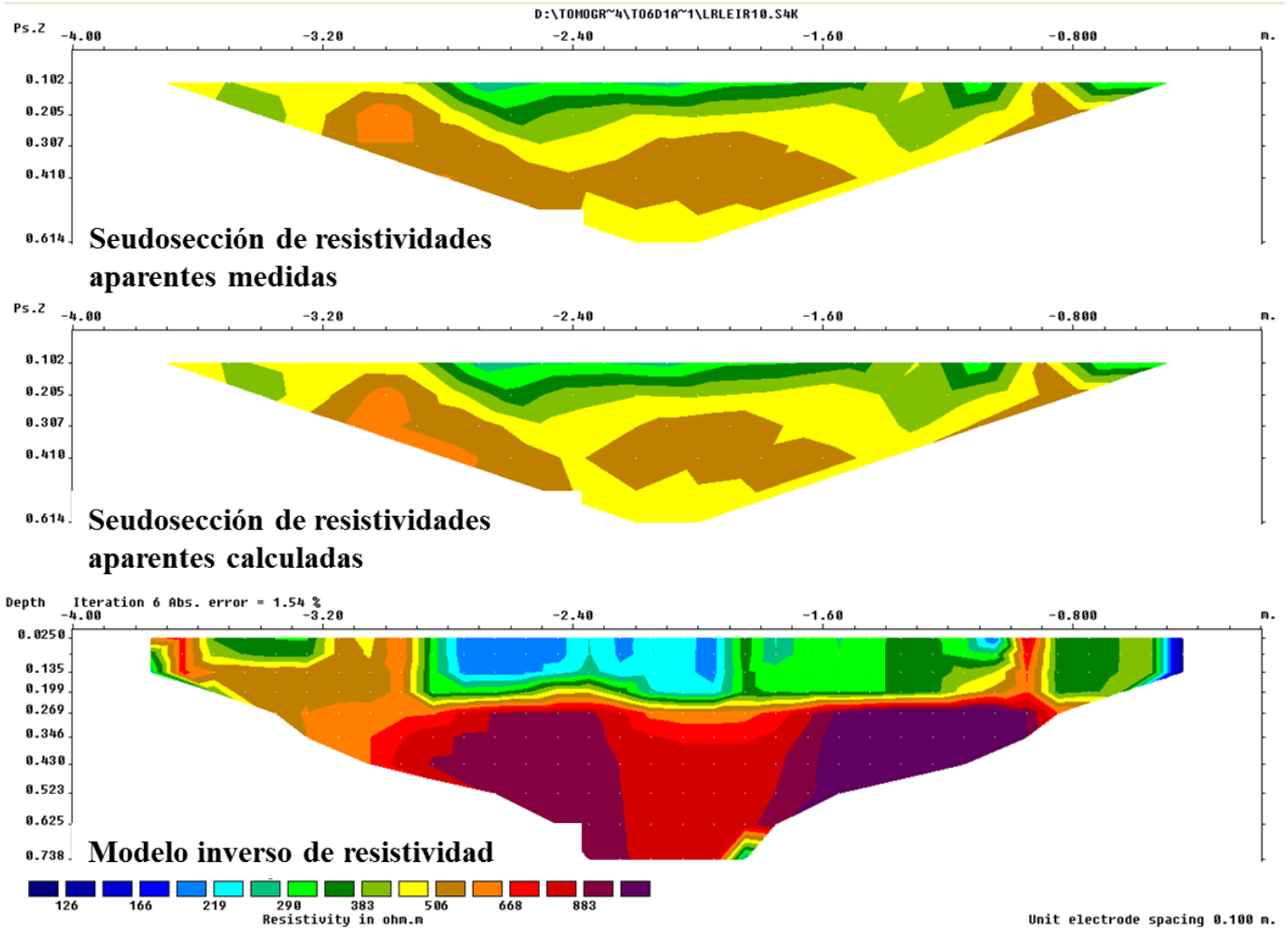
El mismo proceso se repite para medidas con espaciamento "3a", "4a", "5a" y "6a". Para conseguir los mejores resultados, las medidas en un levantamiento de campo deberían hacerse de una manera sistemática para que todas las medidas posibles se efectúen. Esto afectará la calidad de interpretación del modelo que se obtenga a partir de la inversión de las mediciones de resistividad aparente (Dahlin y Loke, 1998). A medida que el espaciamento entre electrodos aumenta, disminuye el número de mediciones. La cantidad de datos que pueden obtenerse para cada espaciamento entre electrodos para un determinado número de electrodos a lo largo de una línea de sondeo, depende del tipo de configuración electródica que se utiliza.



**Figura 5.** Configuración Wenner-Schlumberger

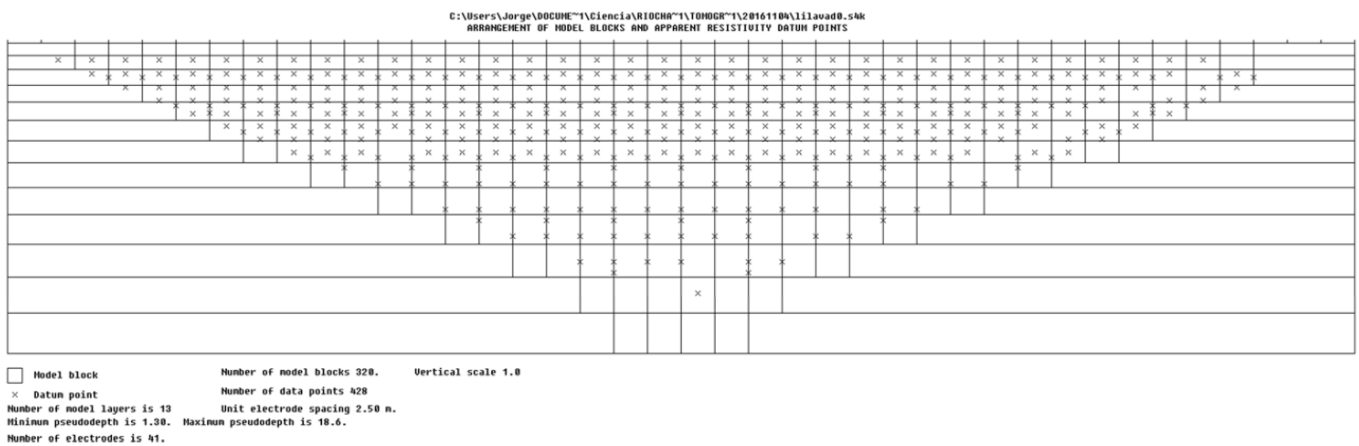
### Inversión de los datos de resistividades eléctricas aparentes.

Las pseudosecciones de resistividad aparente (figura 6) se han interpretado mediante un proceso de inversión numérica para obtener el modelo geoelectrico. El programa utilizado para la inversión de los datos ha sido el RES2DINV. El programa determina de forma automática un modelo bidimensional de resistividades reales del subsuelo a partir de un conjunto de datos que constituyen una pseudosección de resistividades aparentes. El modelo bidimensional utilizado por el programa consiste en un conjunto de bloques rectangulares (Figura 7), la situación de los cuales se corresponde con la distribución de los puntos de medida en la pseudosección. Para realizar el cálculo de los valores de resistividad se utiliza una subrutina de modelización directa, así como una técnica de optimización no lineal de mínimos cuadrados para la rutina de inversión. Durante el proceso de inversión se adopta como criterio de convergencia el valor del error cuadrático medio (RMS) entre los datos experimentales y la respuesta del modelo actualizado en cada iteración. Si el valor del RMS o su disminución relativa se sitúan por debajo de un valor predefinido se dice que la inversión ha convergido y el proceso se considera terminado, en la figura 6 podemos ver el esquema de la pseudosección y del modelo de resistividades.

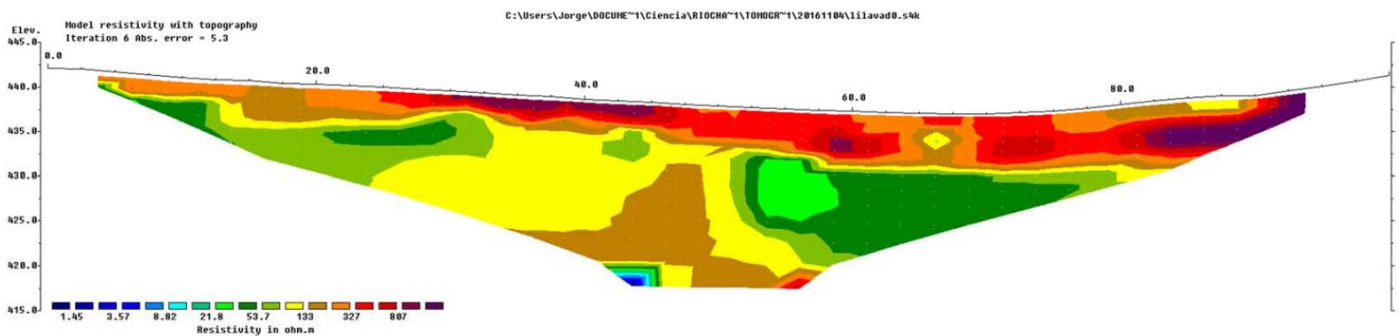


**Figura 6.** Tomografía eléctrica resistiva con la seudosecciones y el modelo inverso de resistividad

En la figura 8 se puede apreciar fácilmente en el modelo de resistividades eléctricas el nivel freático, en la zona de contraste entre los valores de resistividad eléctrica del medio, se puede observar también que el modelo ha sido corregido con la topografía del terreno.



**Figura 7.** Perfil de 110 m de apertura de alas disposición de Wenner-alpha con separación interelectrodos de 2,5m, 45 electrodos y 428 medidas, pseudoprofundidad máxima 18,6 m.



**Figura 8.** Modelo de resistividades eléctricas donde se aprecia el nivel freático por el contraste de valores de resistividad