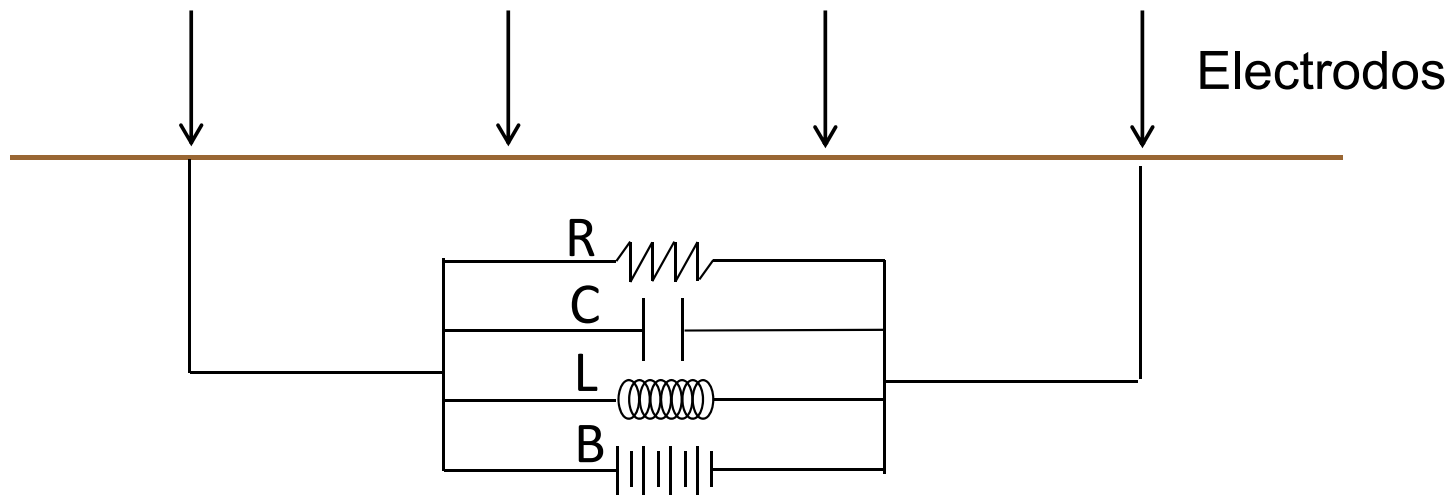


La Tierra como un circuito

Suelo y rocas se pueden modelar conceptualmente como un circuito formado por: resistencia, capacitor, inductor y batería:



Resistencia R:	disipador de la energía aplicada como calor
Capacitor C:	almacenamiento de energía en forma de separación de cargas
Inductor L:	potencial propio asociado con métodos electromagnéticos
Batería B:	electrocinética y auto-potencial

Métodos eléctricos y electromagnéticos

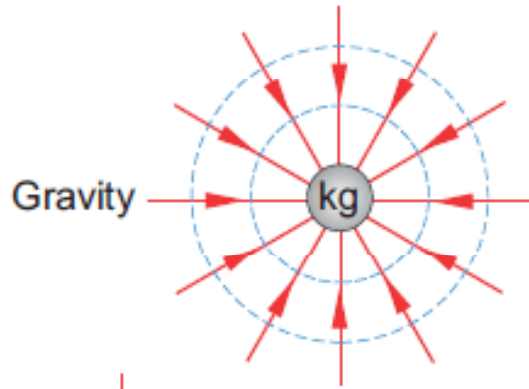
– Eléctricos

- Activos
 - Resistividad
 - Polarización inducida (IP)
 - Mise-a-la-masse
- Pasivos
 - Potencial espontáneo (SP)

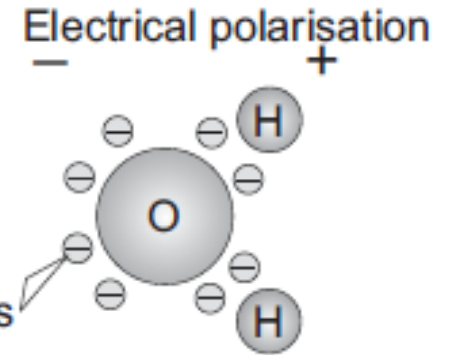
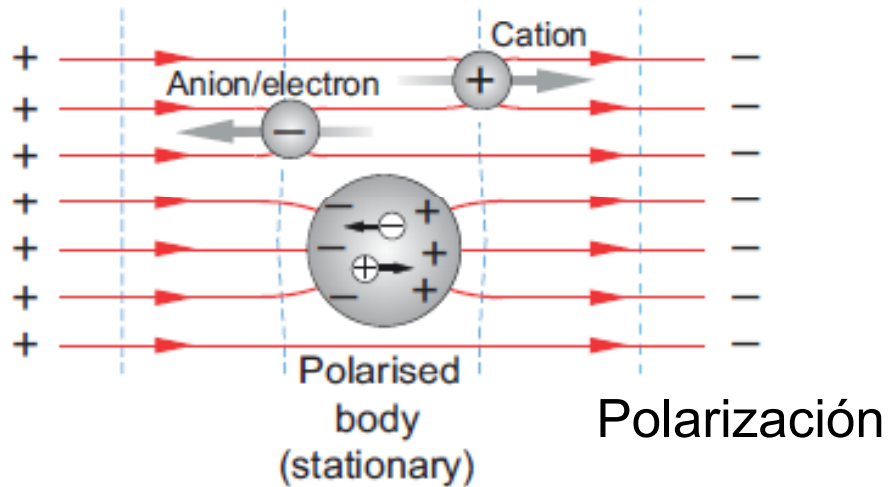
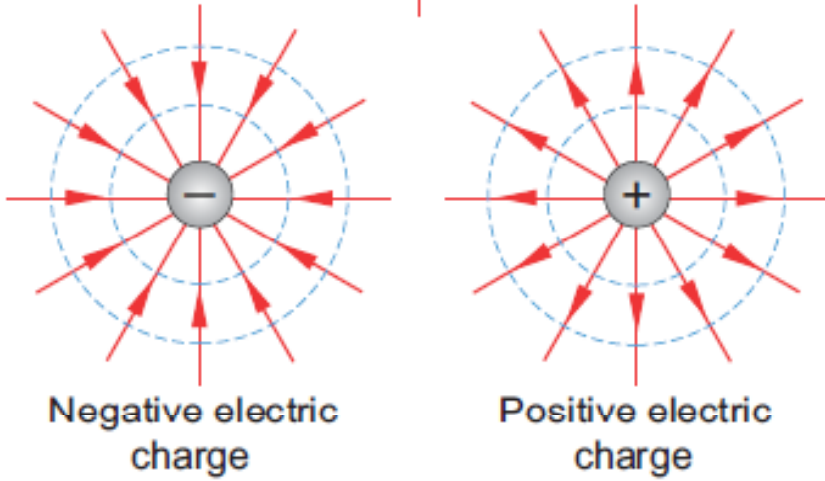
– Electromagnéticos

- Utilizan corriente alterna para generar campos magnéticos secundarios

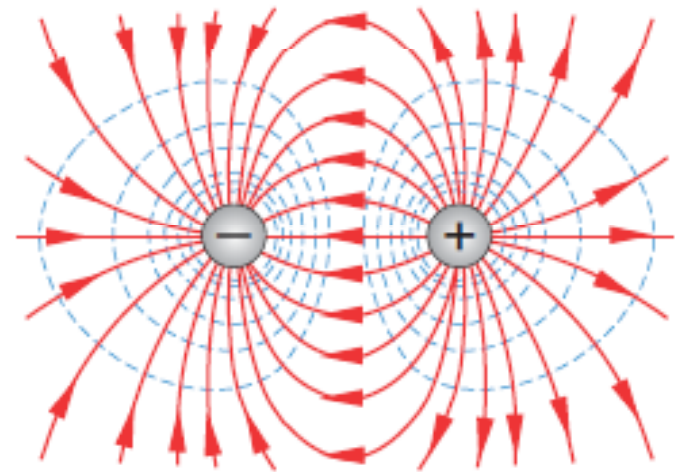
Conceptos básicos



Campo de un polo eléctrico aislado



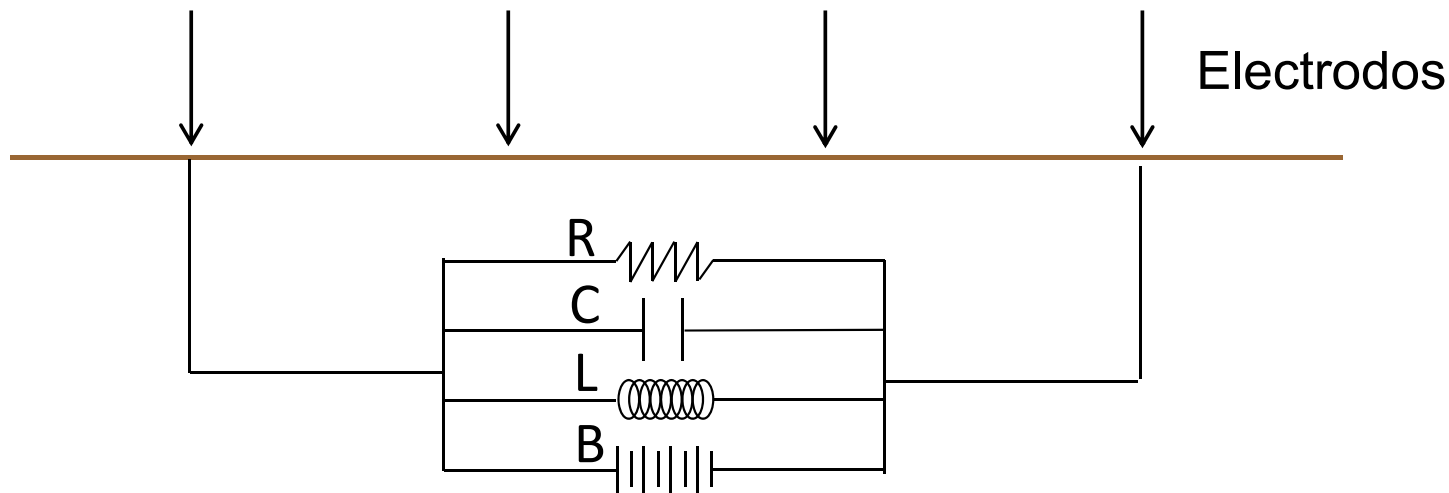
Polarización de la molécula de agua



Campo de un dipolo eléctrico

La Tierra como un circuito

Suelo y rocas se pueden modelar conceptualmente como un circuito formado por: resistencia, capacitor, inductor y batería:



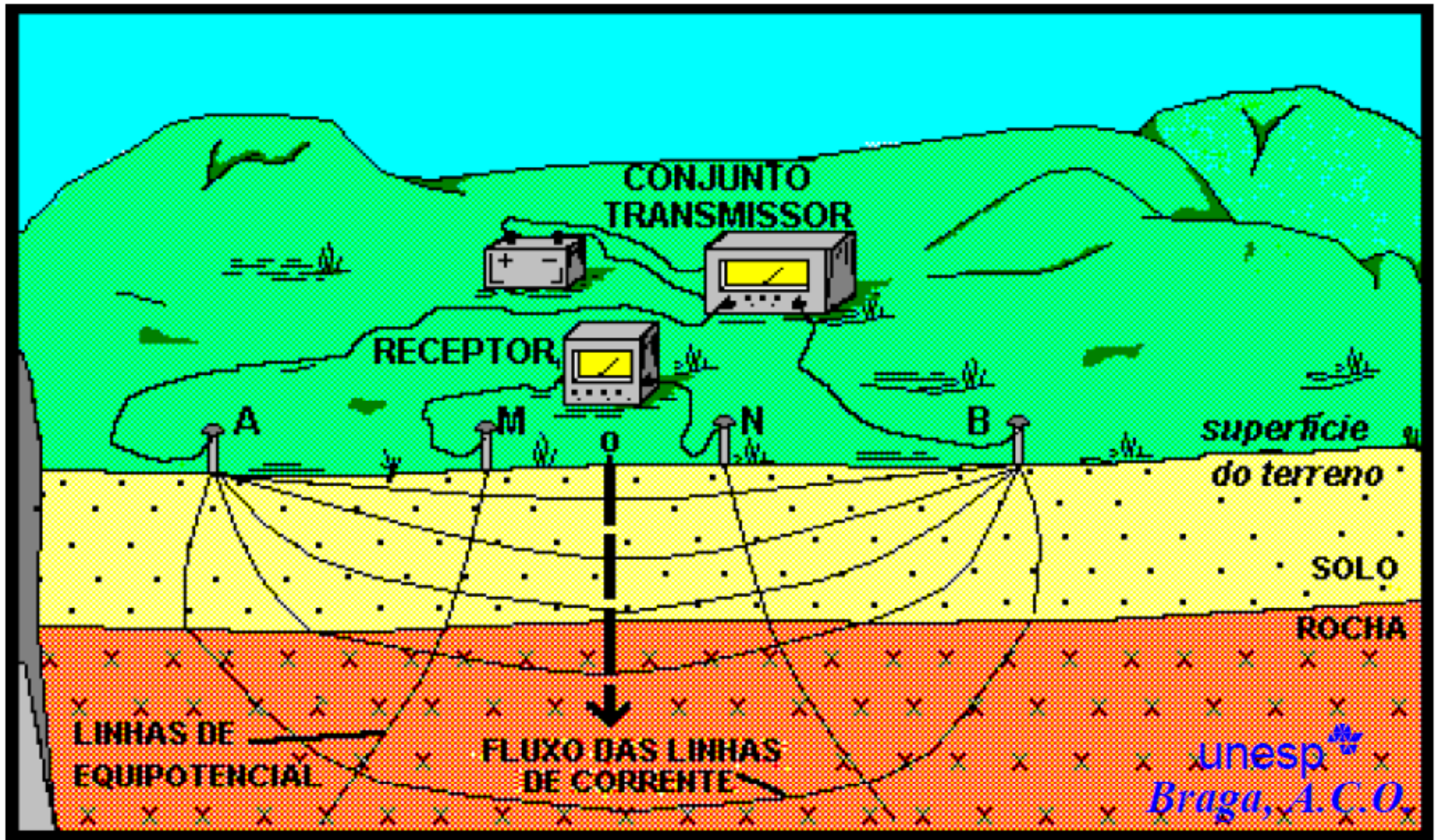
Resistencia R: disipador de la energía aplicada como calor

Capacitor C: almacenamiento de energía en forma de separación de cargas

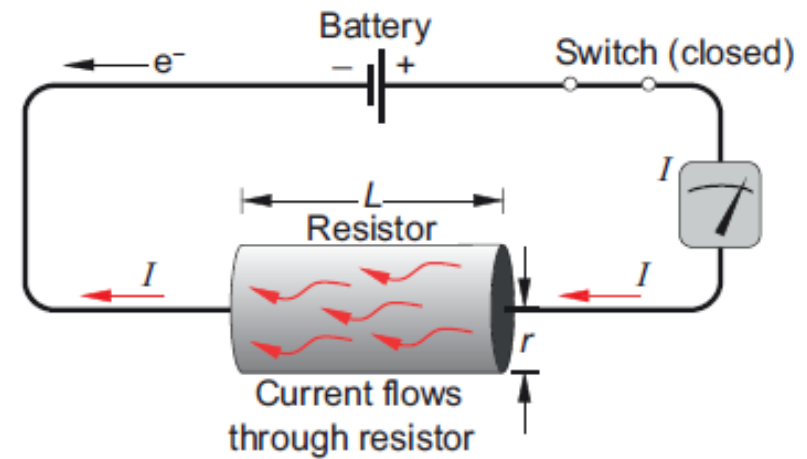
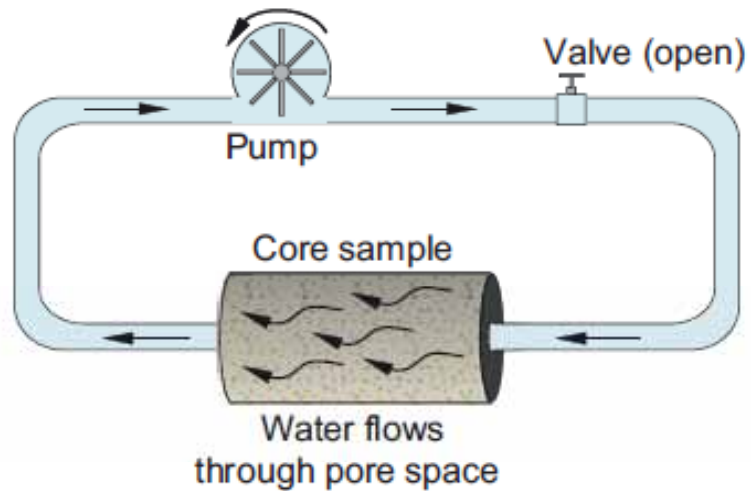
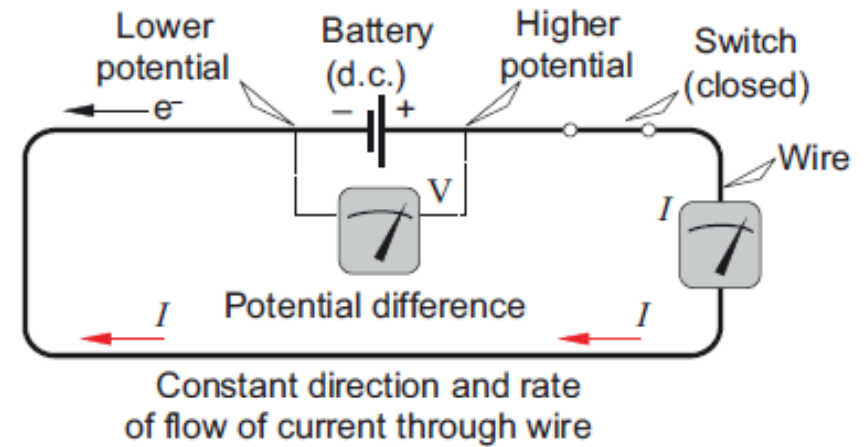
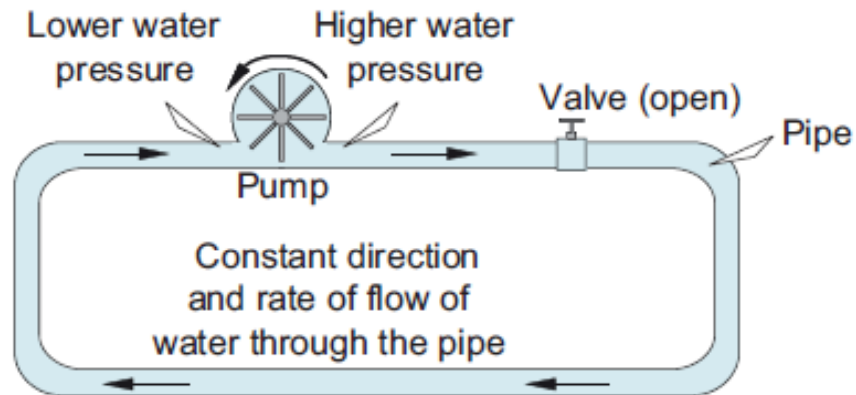
Inductor L: potencial propio asociado con métodos electromagnéticos

Batería B: electrocinética y auto-potencial

La mayoría de los métodos eléctricos de prospección son activos. Es decir, implican la creación de un campo eléctrico artificial controlado desde una fuente de transmisión.



Métodos resistivos



Ley de Ohm:

$$V = R \cdot I \quad ; \quad R = \frac{V}{I} \quad ; \quad I = \frac{V}{R}$$

La resistencia depende de las propiedades intrínsecas del material y de su geometría

$$\rho = R k_{\text{geom}} \qquad k_{\text{geom}} = \frac{\text{Cross-sectional area}}{\text{Length}} = \frac{\pi r^2}{L}$$

Para un cilindro

Resistividad (rho): es la resistencia específica, una medida de la dificultad que la corriente encuentra a su paso por el material

$$V = I \frac{\rho}{k_{\text{geom}}}$$

$$\rho = Rk_{\text{geom}}$$

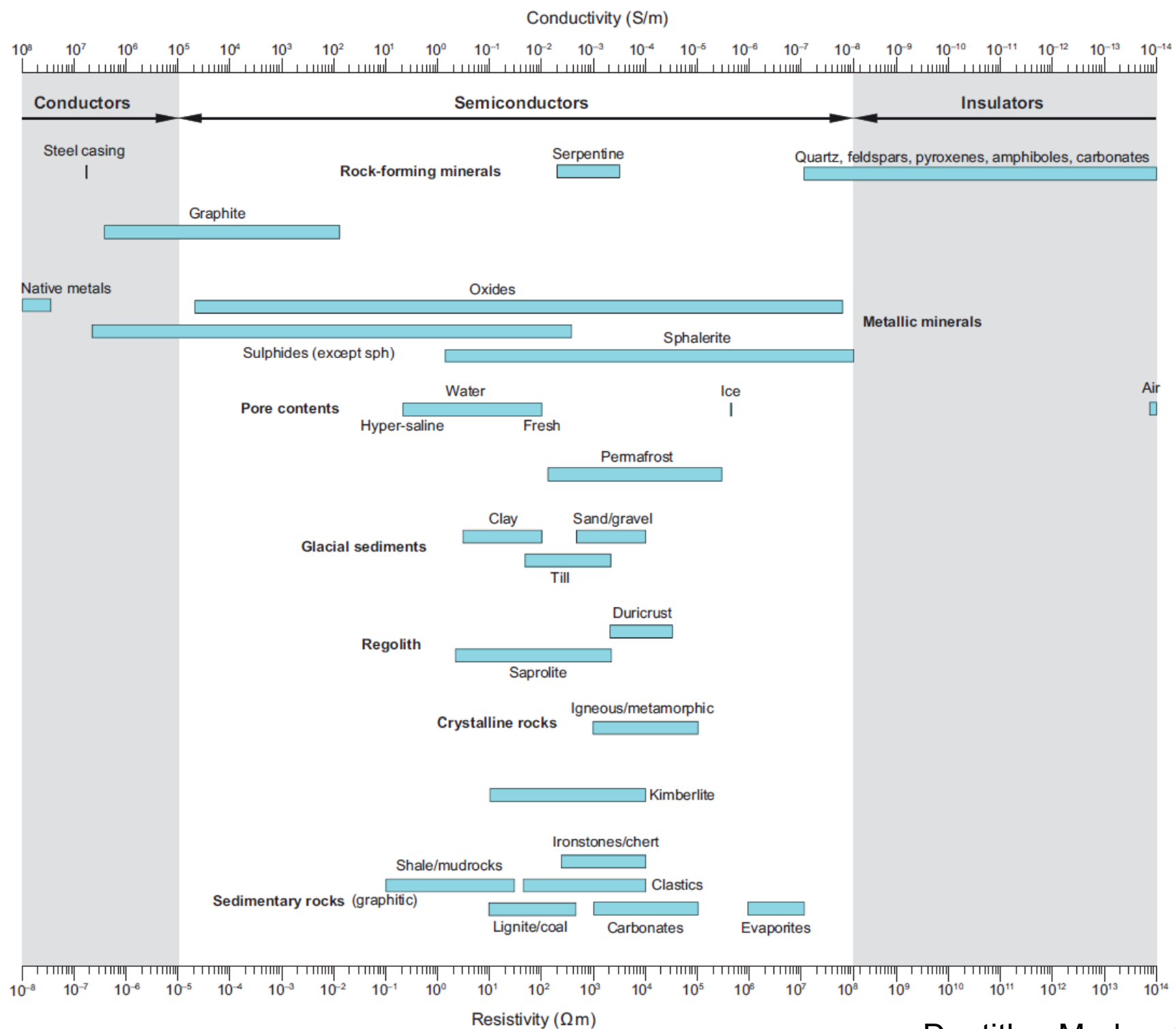
Resistividad

Unidades:

Ohm-metro (ohm m)

Conductividad: es la recíproca de la resistividad

Unidades: Siemens (S) por metro, $1 \text{ S/m} = \frac{1}{\text{ohm m}}$



- *Los silicatos son aislantes*
- **Conducción metálica** (electrónica – óhmica)
- **Conducción iónica** (electrolítica) que depende de:
 - Porosidad
 - Salinidad del fluido poral
 - Temperatura
 - Saturación de los poros
 - Contenido de arcillas
 - Presión confinante

Ley de Archie

$$\frac{\rho_b}{\rho_f} = F = a \phi^{-m}$$

F: factor de formación

ϕ porosidad

a, m, constantes determinadas experimentalmente

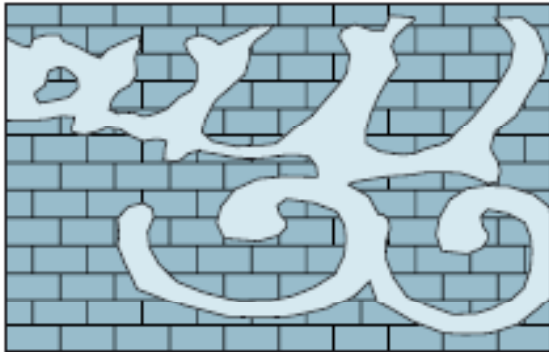
ρ_b resistividad efectiva de la roca

ρ_f resistividad del fluido

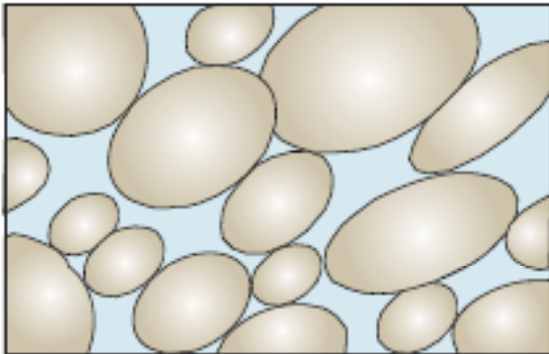
$$\rho_b = \rho_f a \phi^{-m}.$$

F varía entre 5 y 500. Cuanto menor F, más se parece la resistividad de la roca a la del fluido.

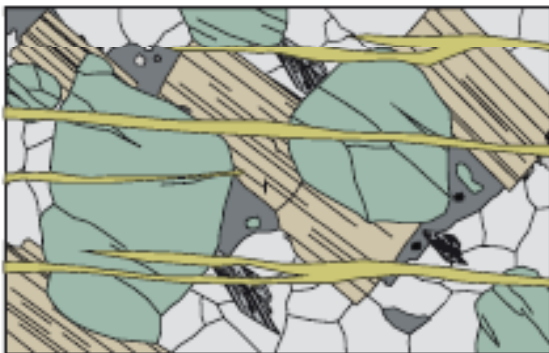
Rock	ϕ	a	m
Weakly cemented, detrital (Tertiary)	0.25 – 0.45	0.88	1.37
Moderately well cemented (Mesozoic)	0.22 – 0.35	0.62	1.72
Well cemented (Paleozoic)	0.05 – 0.25	0.62	1.95
Dense, igneous, metamorphic	< 0.05	1.4	1.6
High porosity volcanic	0.2 – 0.8	3.5	1.4



Conductive pore fluid in secondary porosity



Conductive pore fluid in intergranular porosity



Conductive minerals in fractures

High formation factor



Increasing complexity of current flow path



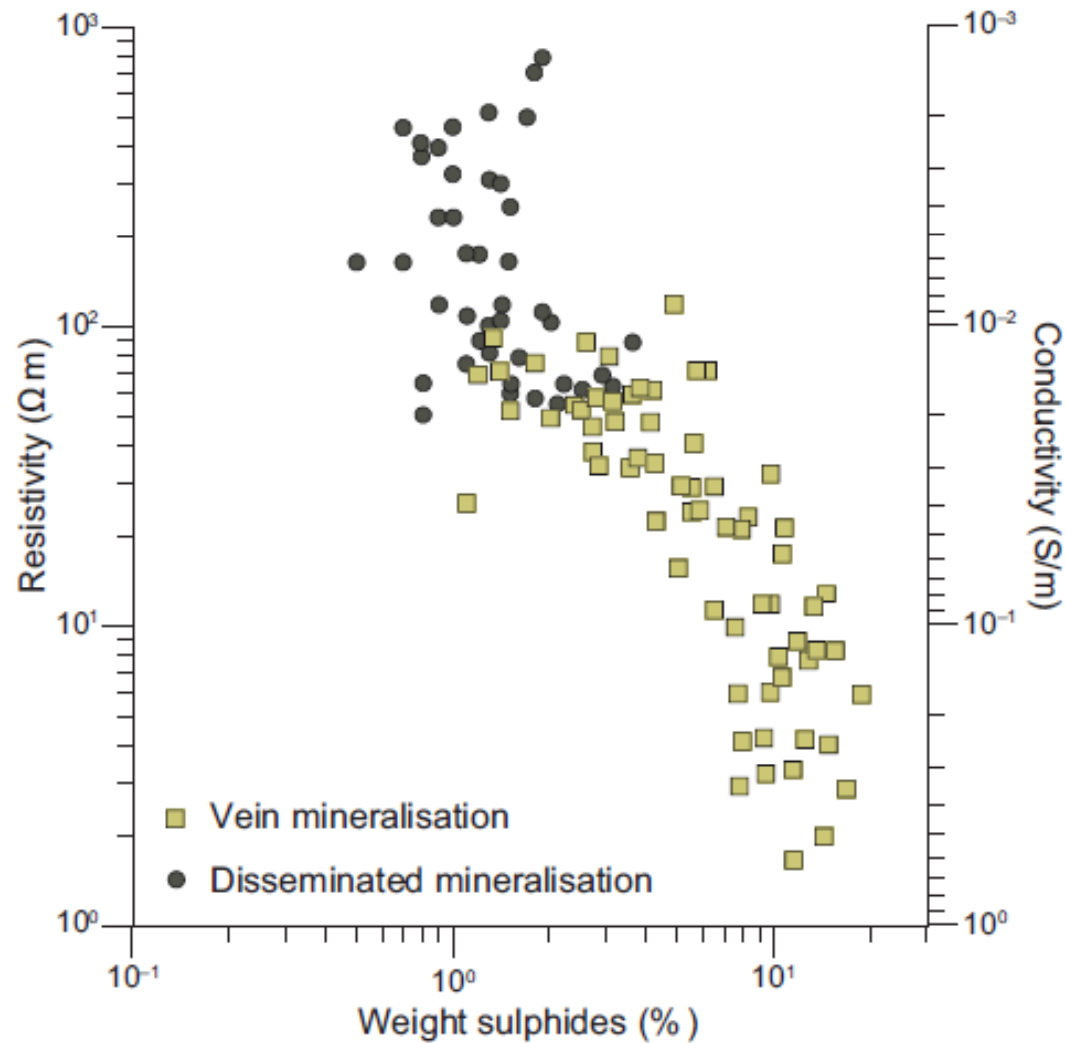
Low formation factor

El factor de formación cuantifica el modo en que la matriz resistiva condiciona pasivamente el flujo de corriente a través de los fluidos porales

A más directo el flujo de corriente, menor F

Resistividad del fluido según su salinidad

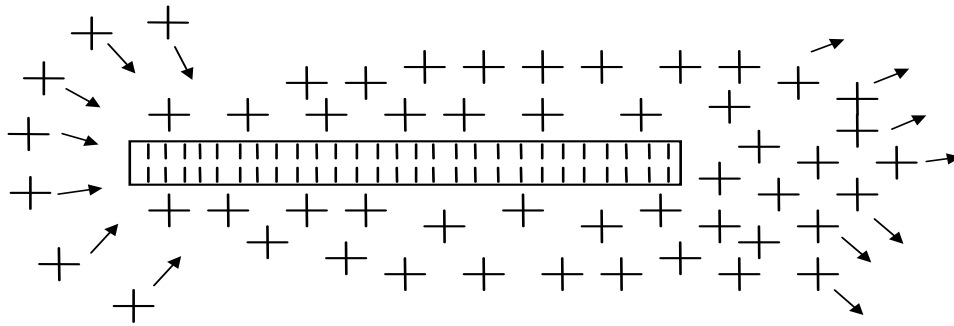
<i>Type of water</i>	<i>Resistivity ohm.m</i>	<i>Conductivity microS / cm</i>	<i>Salinity mg / l</i>
<i>very fresh</i>	200	50	35
<i>fresh</i>	20	500	350
<i>salted</i>	10	1 000	700
<i>very salted (sea water)</i>	0.3	30 000	21 000



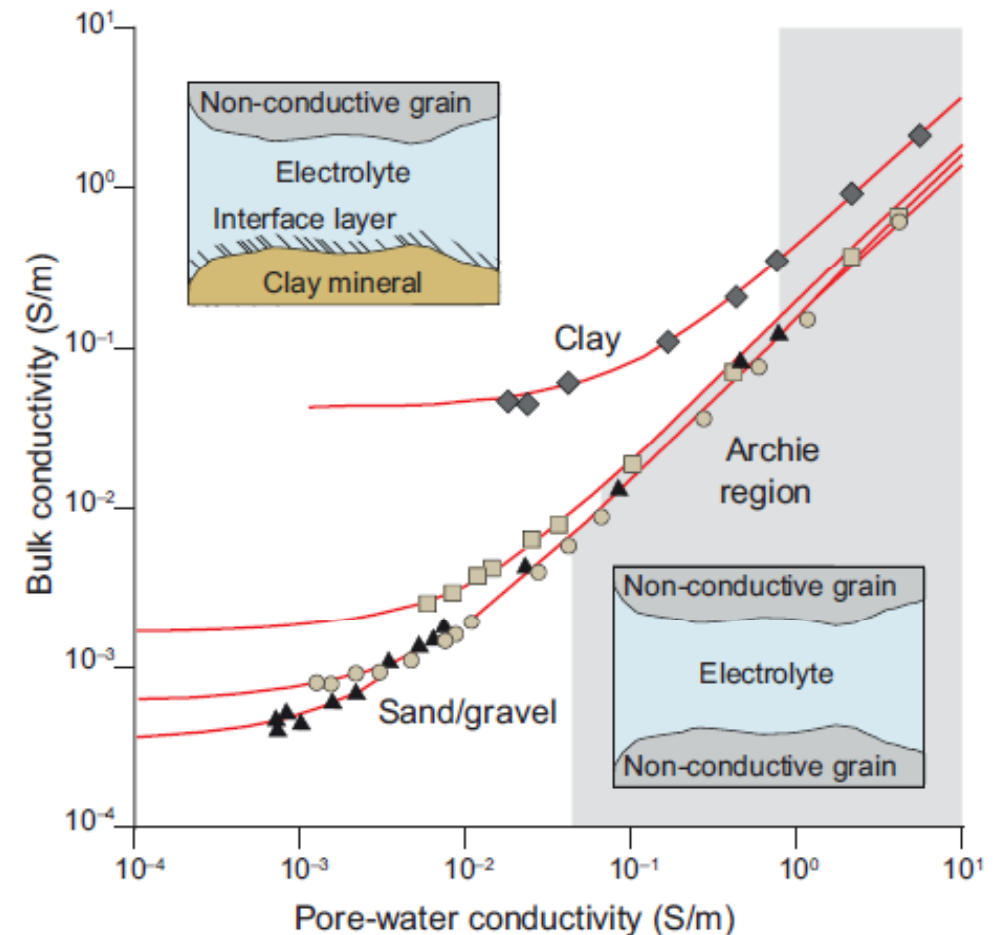
La ley de Archie asume que toda la conducción es a través de los fluidos porales. Pero no todos los minerales de la matriz son aislantes. La conducción puede realizarse a través de minerales conductores de la matriz, y por reacciones electroquímicas entre éstos y el fluido poral. A mayor interconexión entre estos minerales, mayor conducción.

Efecto de la presencia de arcillas

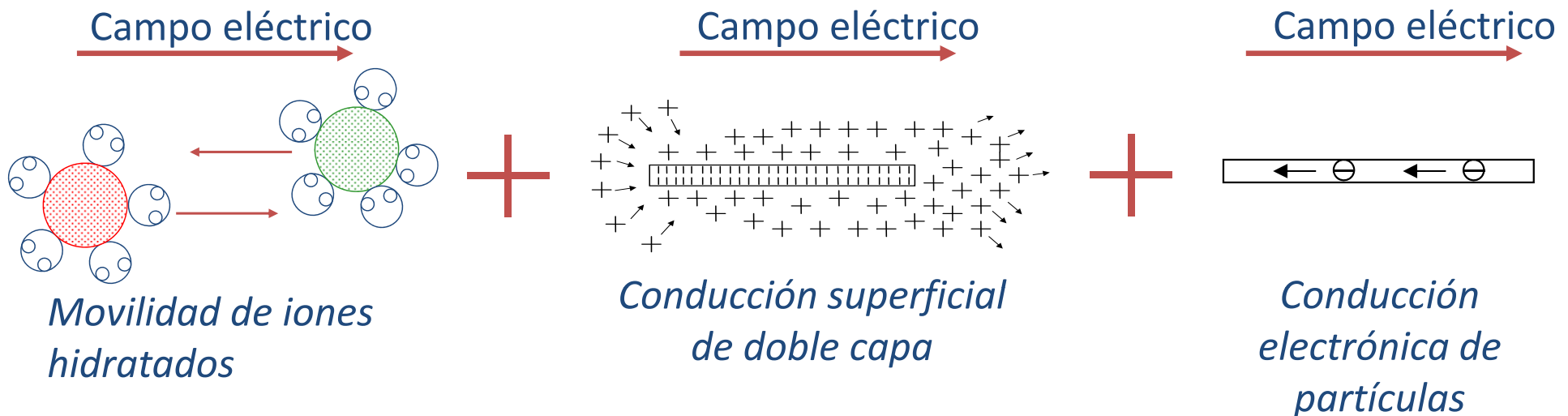
La ley de Archie falla para describir la resistividad de rocas arcillosas

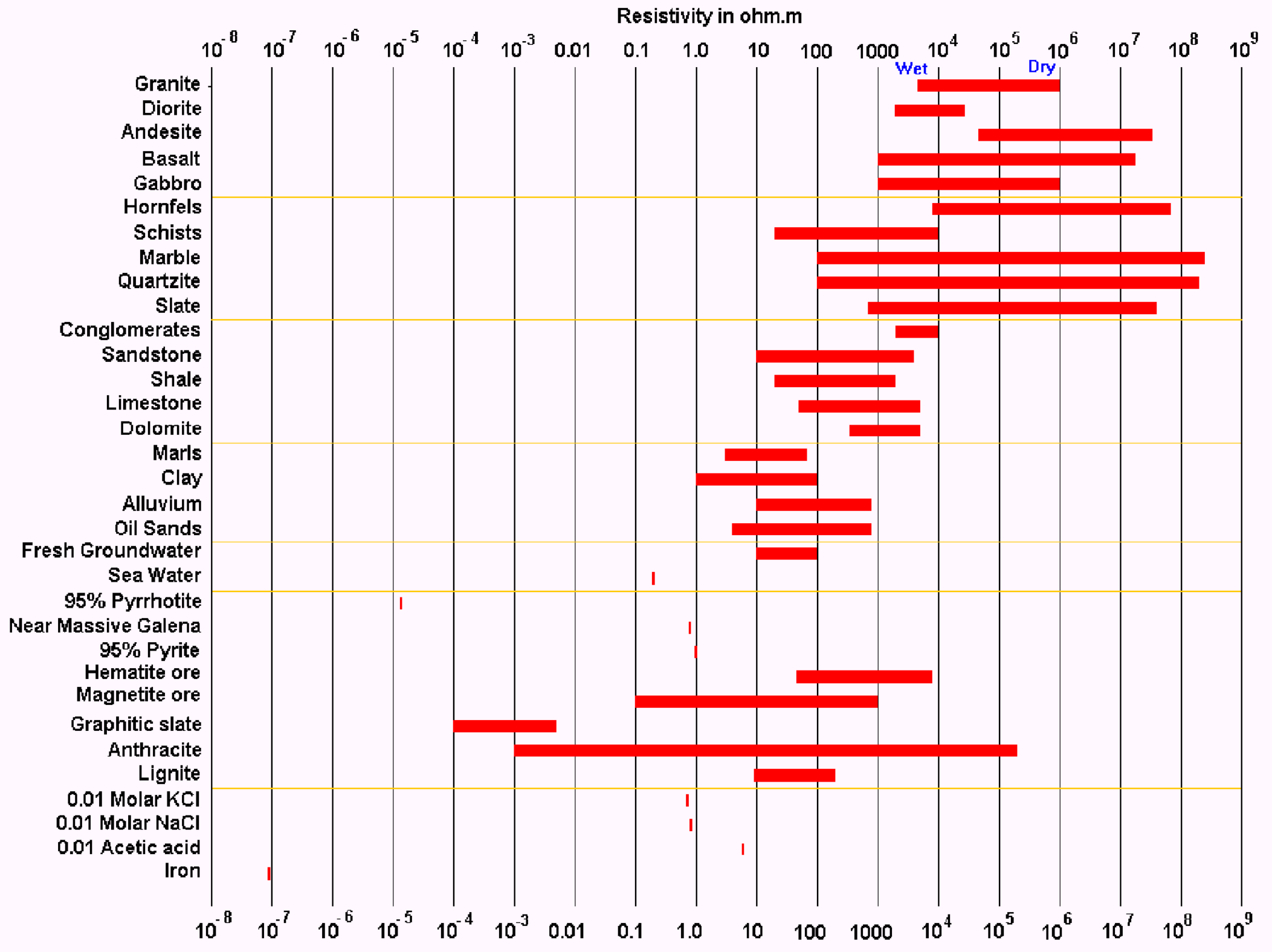


Las arcillas son «sandwiches» de capas octaédricas entre pares de capas tetraédricas. El reemplazo de Mg^{++} por Al^{+++} produce cargas negativas libres. A su alrededor se generan capas fijas de cationes y una «zona difusa» de cationes levemente atraídos. Esta «capa doble difusa» actúa como vía de alta conductividad relativa. Son cationes móviles e intercambiables, y son caracterizados por la *Capacidad de Intercambio Catiónico*



- **Conducción metálica** (electrónica – óhmica)
- **Conducción iónica** (electrolítica) que depende de:
 - Porosidad
 - Salinidad del fluido poral
 - Temperatura
 - Saturación de los poros
 - Contenido de arcillas
 - Presión confinante

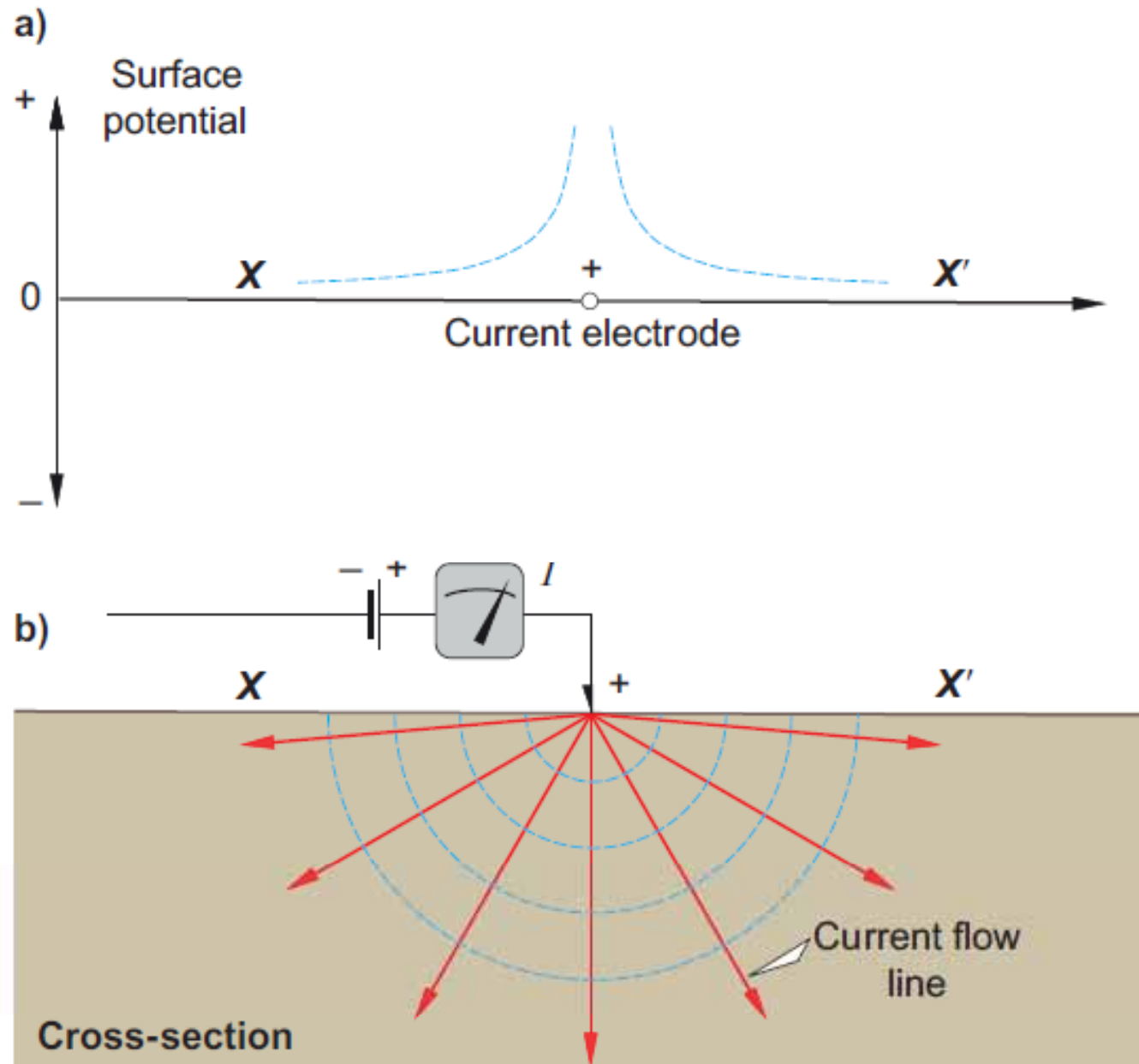


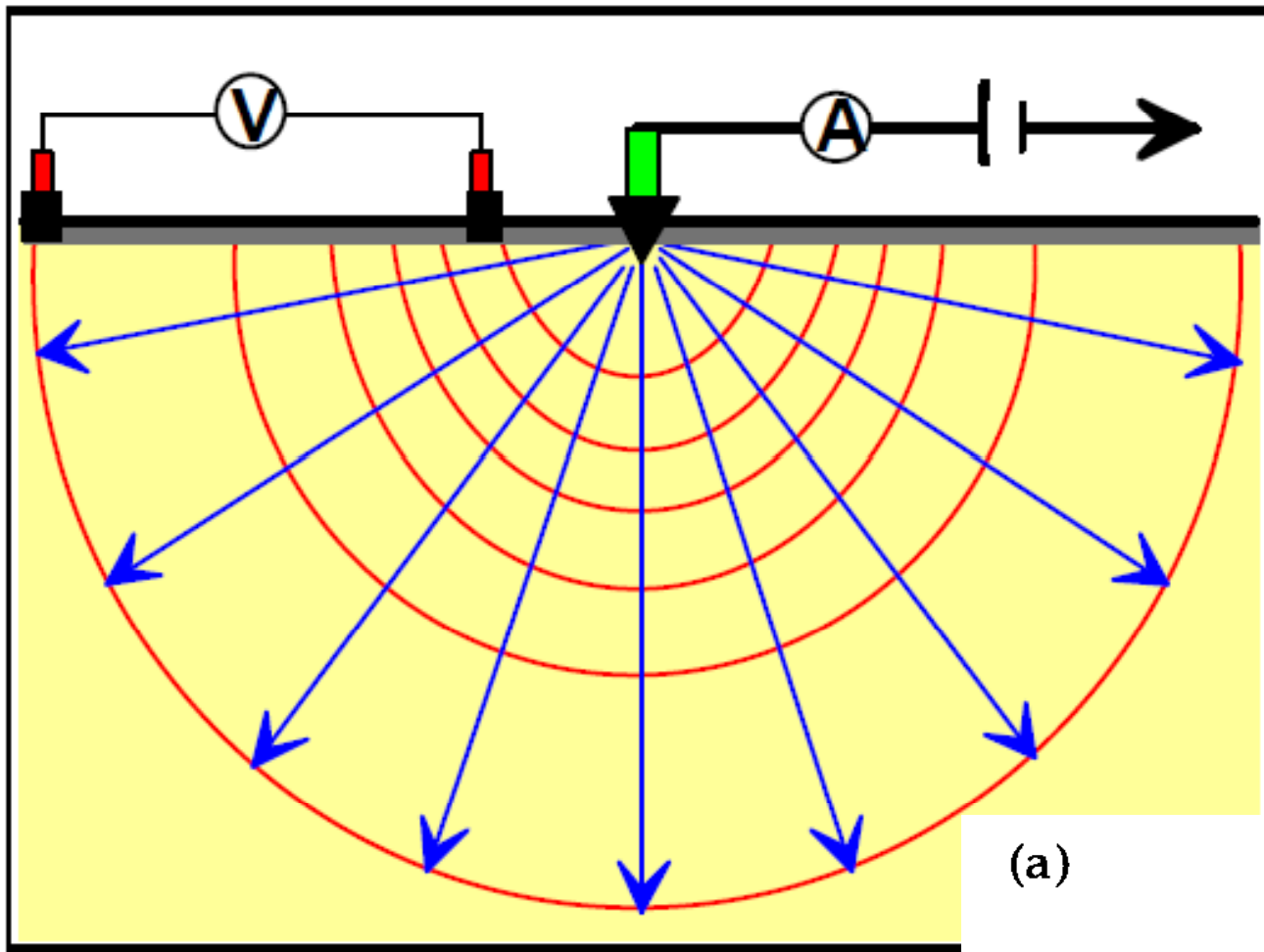


Algunas generalizaciones groseras:

0.1	ohm.m	SALTED WATER
1	ohm.m	MASSIVE SULPHIDE
10	ohm.m	CLAY
100	ohm.m	SAND, MARL
1 000	ohm.m	DRY SAND, LIMESTONE
10 000	ohm.m	HARD GRANITE, BASALT

Inyección de corriente al terreno por contacto directo (galvánico), mediante un *electrodo*





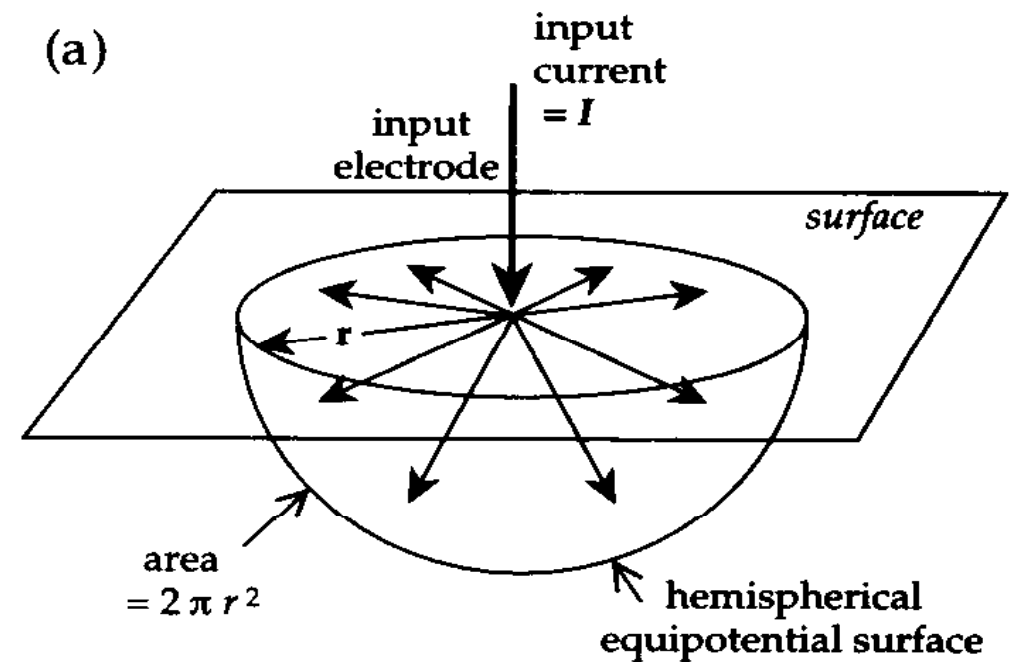
$$V = I \frac{\rho}{k_{\text{geom}}}$$

(a)

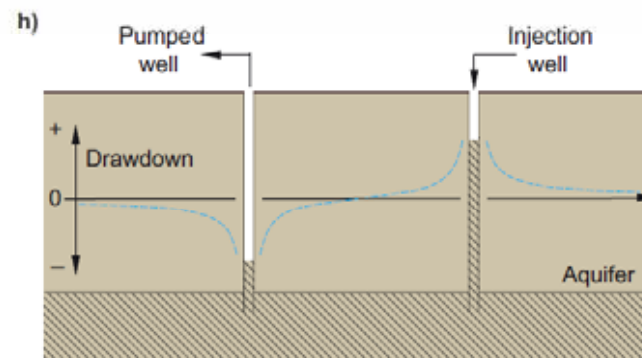
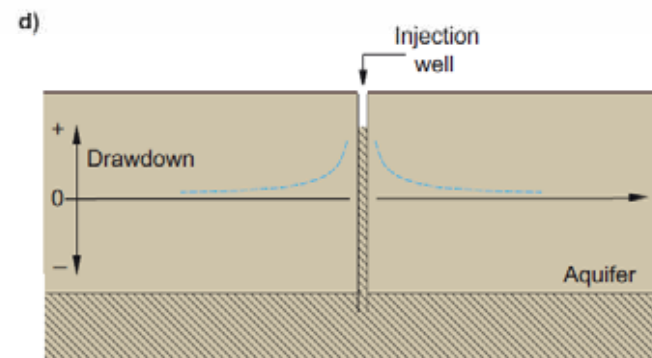
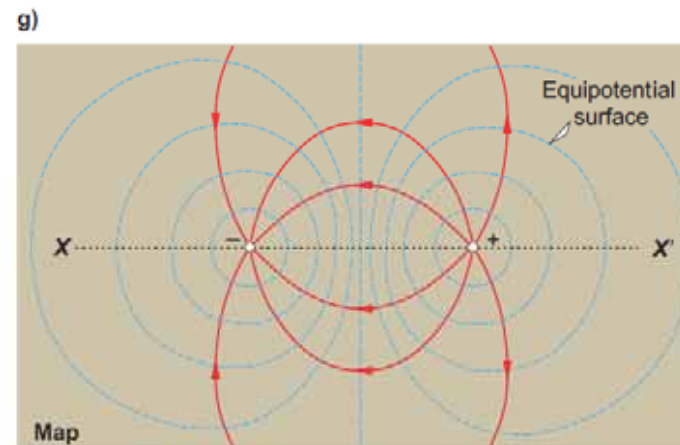
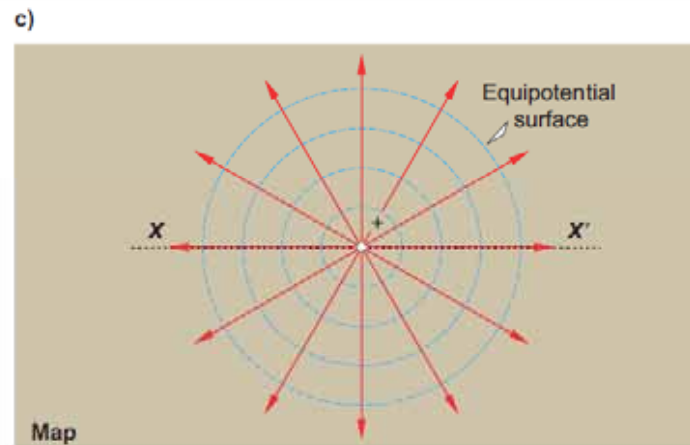
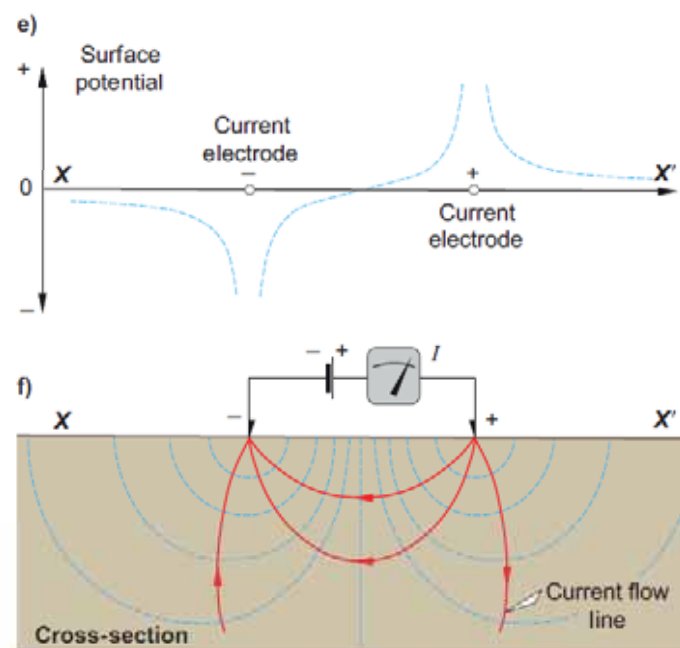
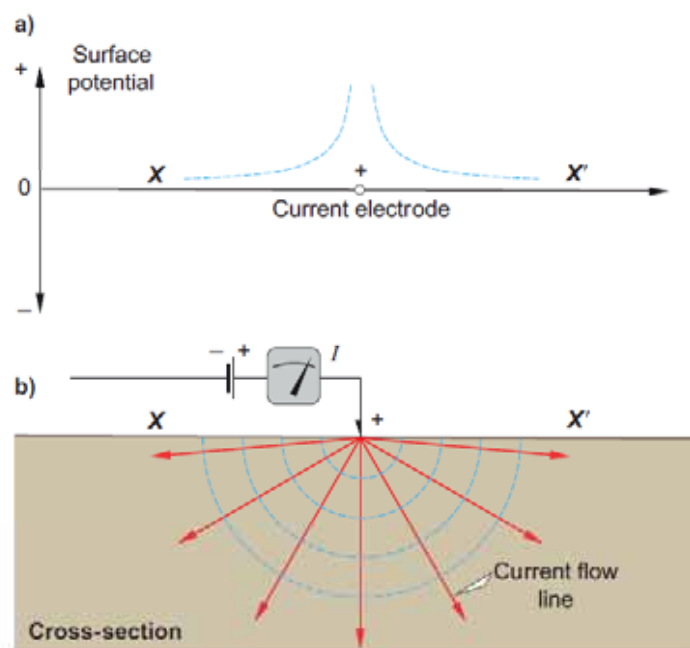
Para la semiesfera:

$$\frac{\delta V}{\delta r} = - \frac{\rho I}{2\pi r^2}$$

integrando $V_r = \frac{\rho I}{2\pi r}$

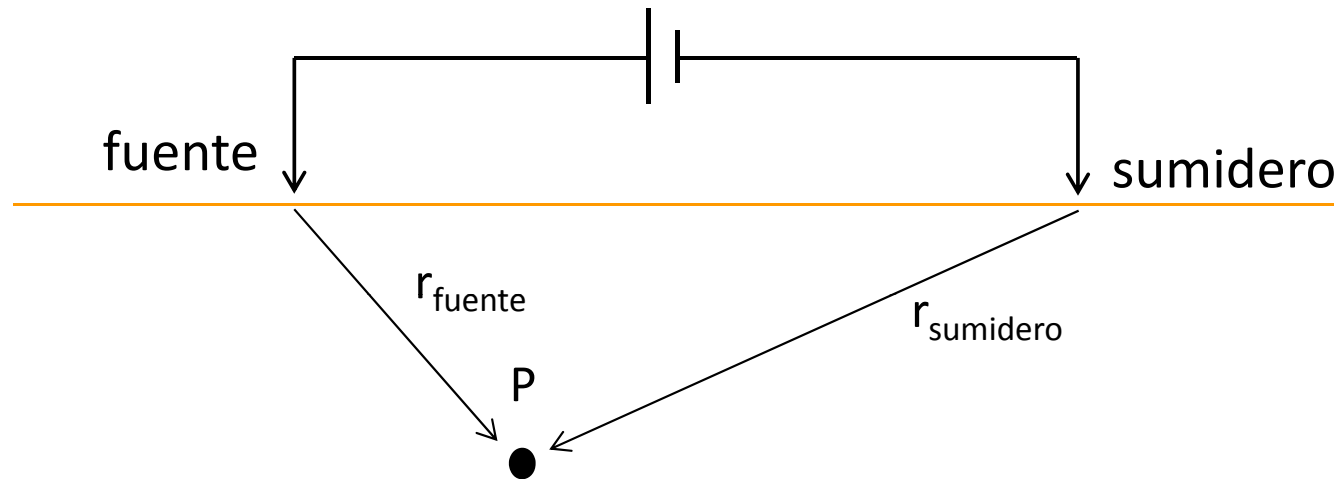


Un segundo *electrodo de corriente* actúa como sumidero



Cuando el sumidero está a una distancia finita:

$$V_r = \frac{\rho I}{2\pi r}$$



$$V_{\text{source}} = \frac{i\rho}{2\pi r_{\text{source}}}$$

$$V_{\text{sink}} = \frac{i\rho}{2\pi r_{\text{sink}}}$$

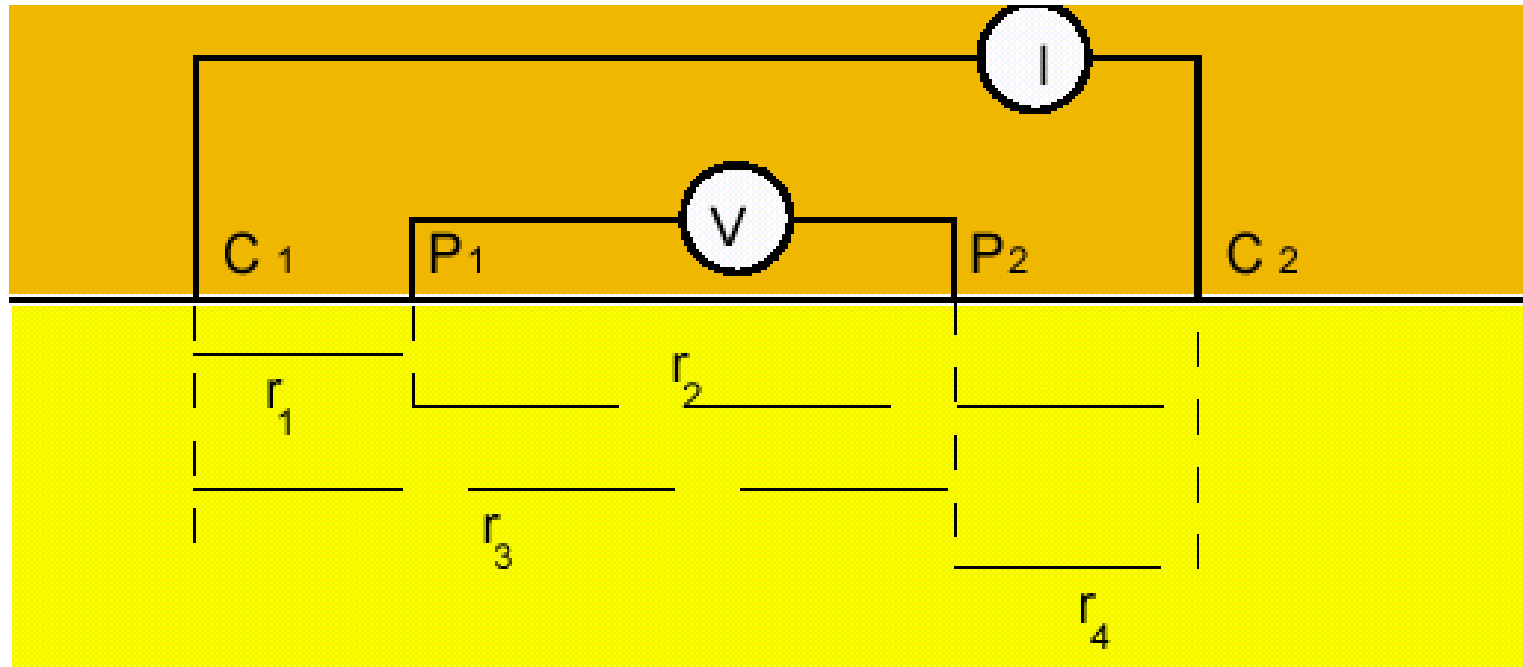
Voltaje total en P:
(superposición)

$$V_p = V_{\text{source}} - V_{\text{sink}} = \frac{i\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_{\text{source}}} - \frac{1}{r_{\text{sink}}} \right)$$

Así se calcula el potencial en cualquier punto del espacio

No determino potenciales en un punto, sino diferencias de potencial entre dos puntos en la superficie. Para eso también se usan *electrodos*, en este caso “*de potencial*”.

Cuadripolo: un par de electrodos de corriente y un par de electrodos de potencial

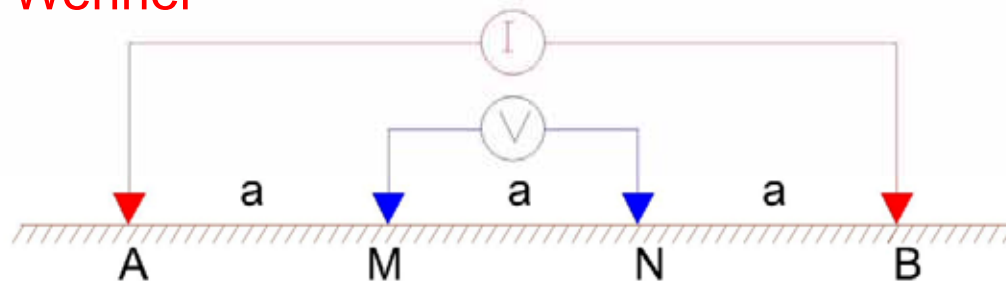


$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} = \frac{I\rho}{2\pi} G(r_1, r_2, r_3, r_4)$$

Factor geométrico: depende de cómo se ubican los electrodos de potencial con respecto a los de corriente

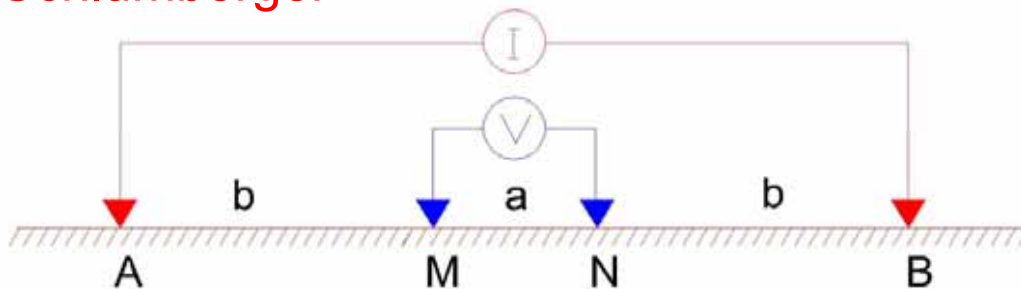
Configuraciones de electrodos (tendidos) más comunes

Wenner



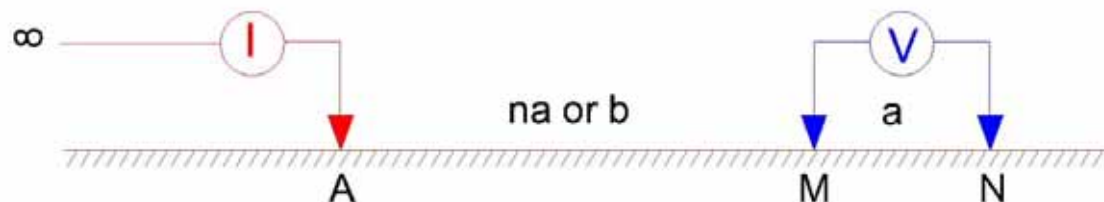
$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{i}$$

Schlumberger



$$\rho_a = \pi \frac{L^2}{2l} \frac{\Delta V}{i}$$

Polo-Dipolo

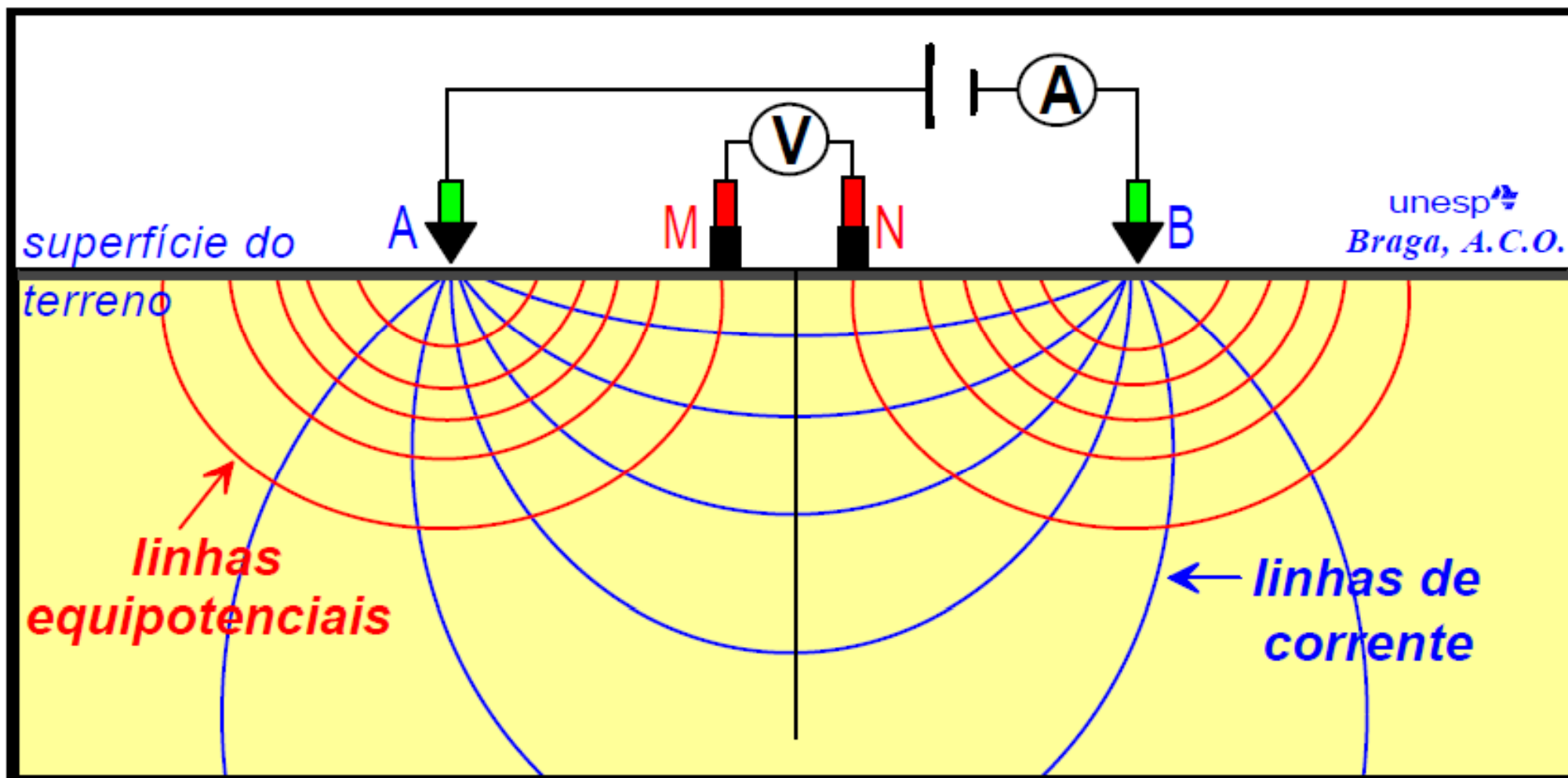


$$\rho_a = 2\pi a n(n+1) \frac{\Delta V}{i}$$

Dipolo-Dipolo



$$\rho_a = \pi a n(n+1)(n+2) \frac{\Delta V}{i}$$

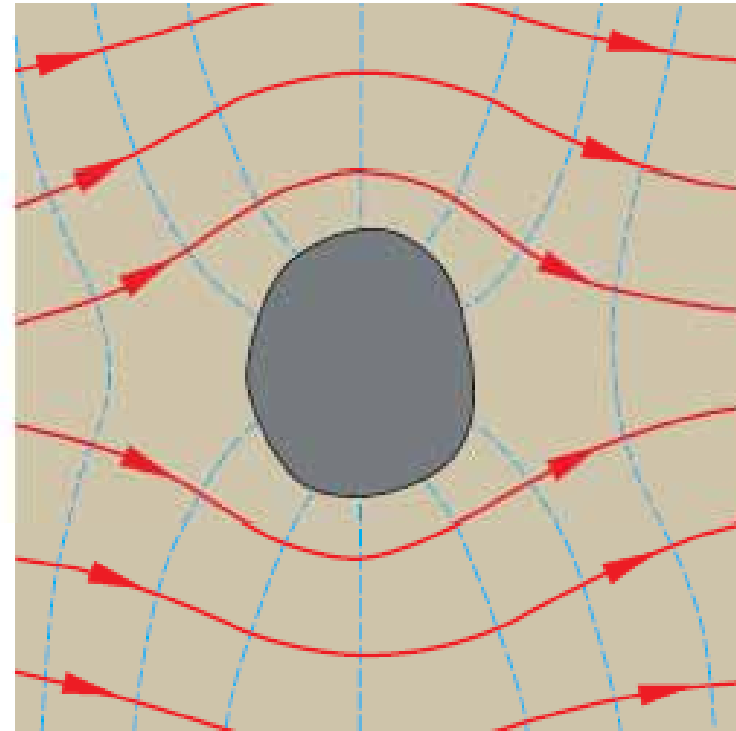
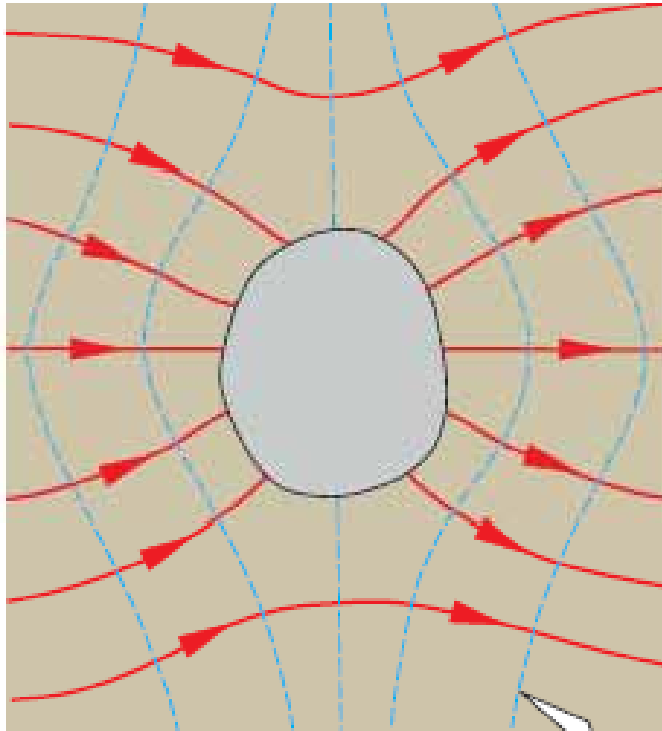


Si el subsuelo es eléctricamente uniforme la resistividad calculada debe ser constante e independiente del espaciado de los electodos y su ubicación.

Conductive body

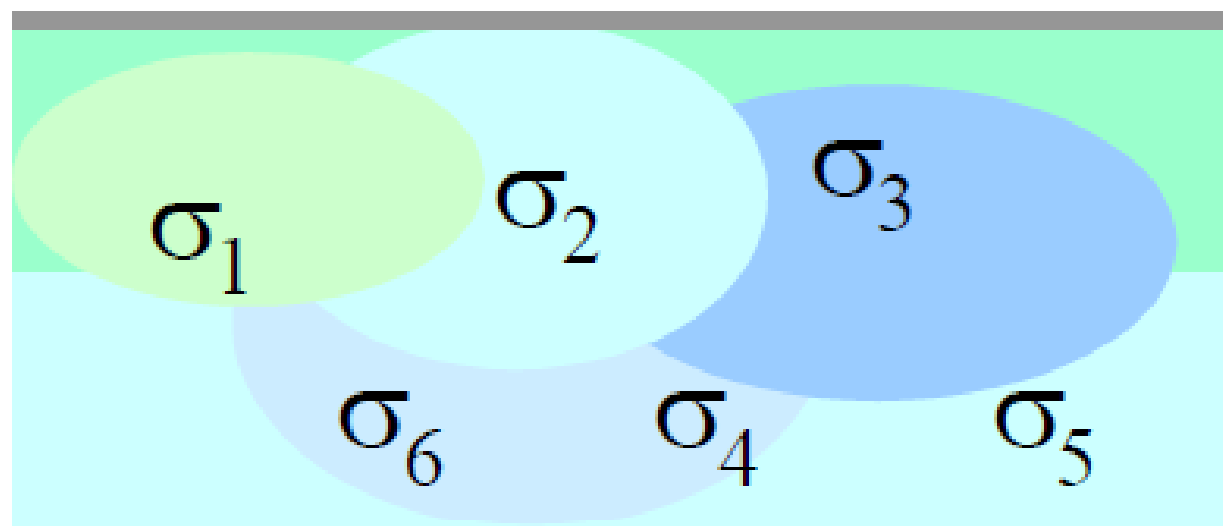
Resistive body

Stream line/current flow line

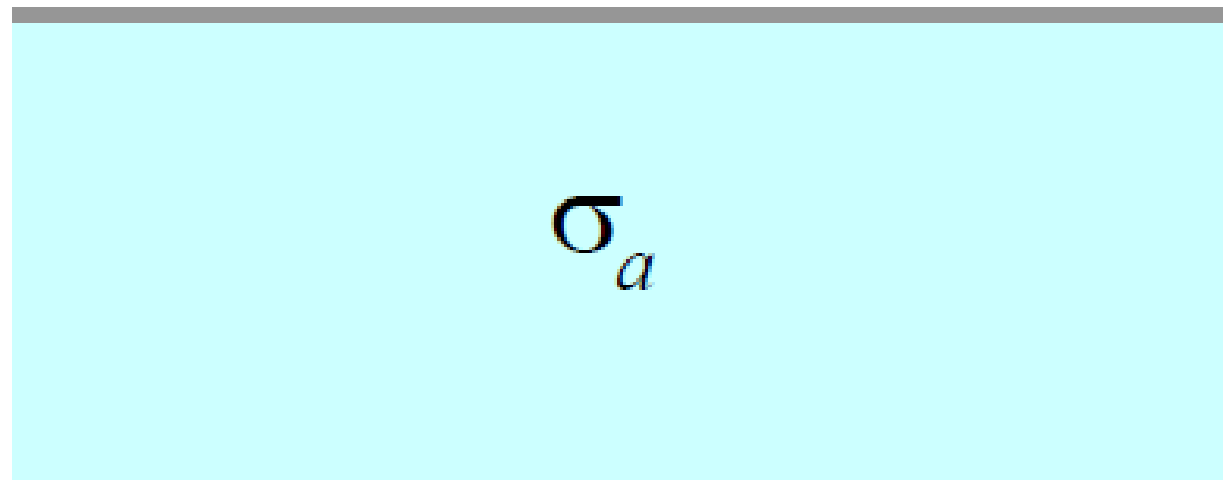


Equipotential surface

... pero la resistividad del subsuelo no es uniforme, lo que provoca distorsiones en el campo eléctrico



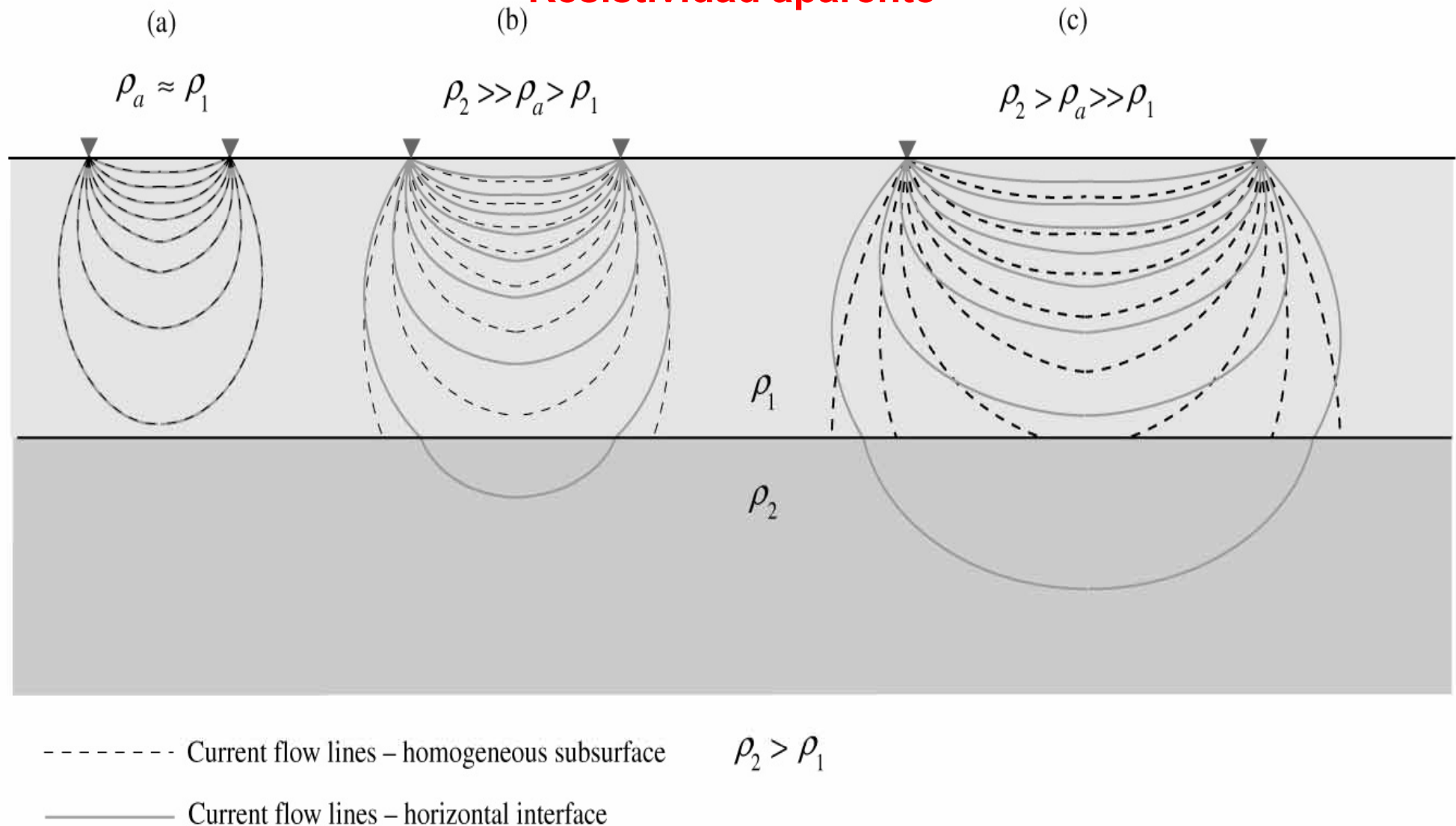
Real Conductivity Distribution



Apparent Conductivity

Como consecuencia, el valor de resistividad medido no será la resistividad real del terreno, sino una ***resistividad aparente***

Resistividad aparente



Si existen inhomogeneidades, la resistividad cambiará al mover los electrodos. Se habla de «**resistividad aparente**» ρ_a , que será función de la forma de las inhomogeneidades.

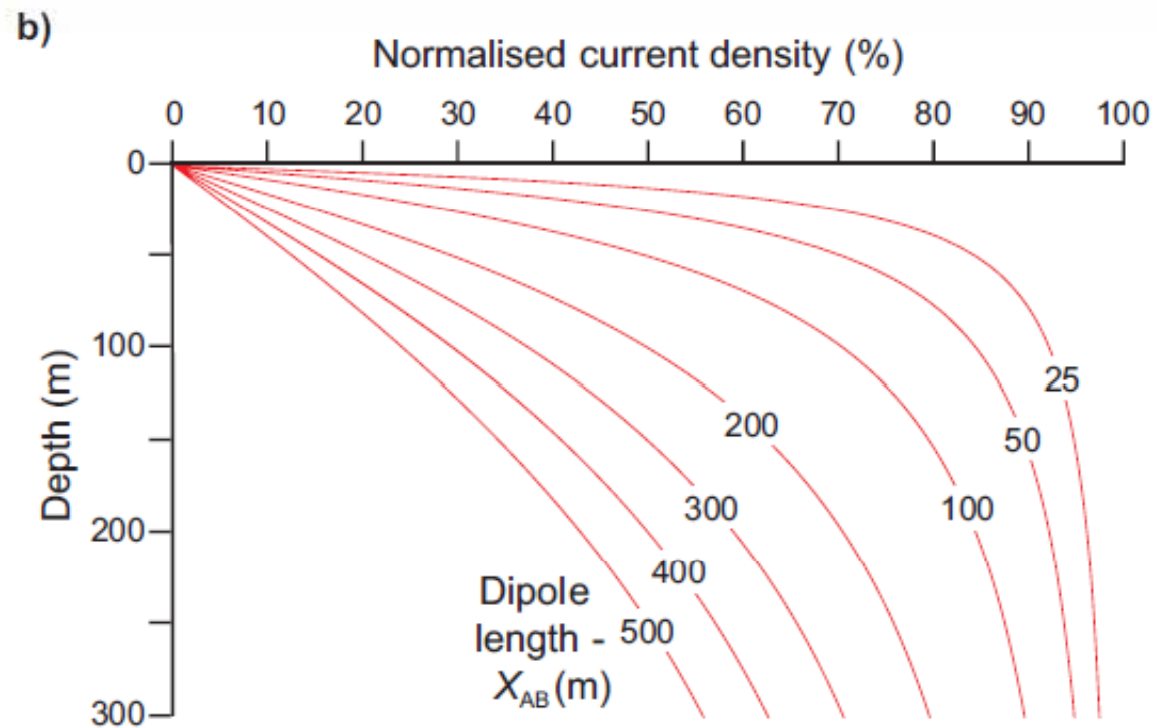
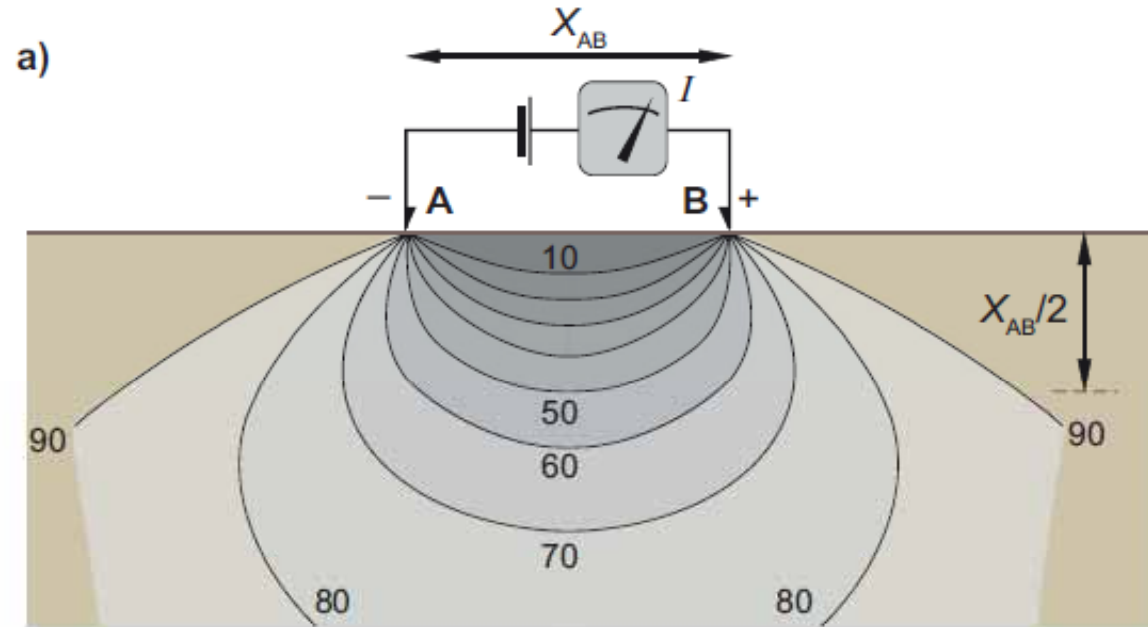
Resistividad aparente: es la resistividad de un subsuelo homogéneo ficticio, que daría los mismos voltajes que los realmente observados

- Los métodos resistivos se basan en determinar las variaciones de **resistividad aparente** del subsuelo, e interpretarlas en función de cambios en la **resistividad verdadera**

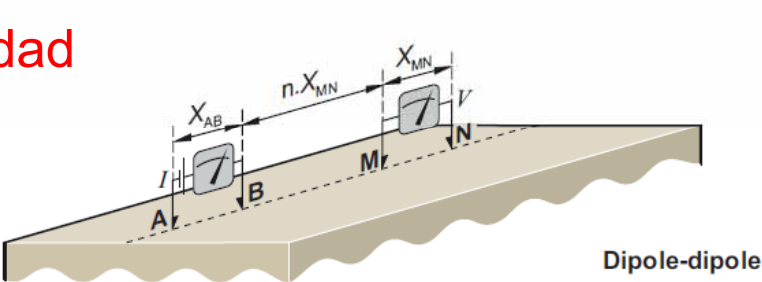
Profundidad de penetración

Está controlada en primera instancia, por la separación de los electrodos de corriente.

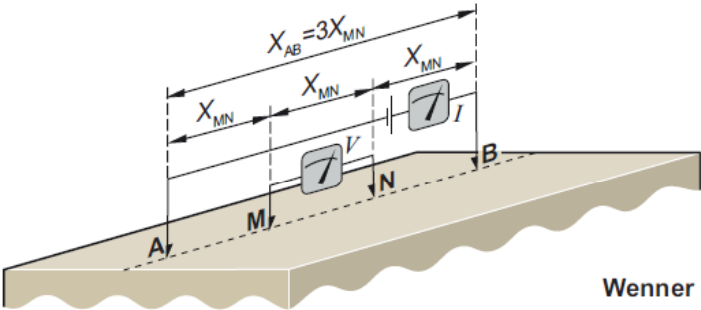
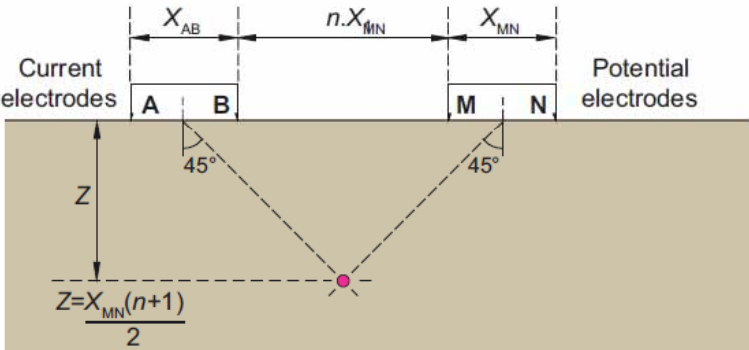
A cada lectura se le asigna una “pseudoprofundidad” relacionada con la apertura de los electrodos.



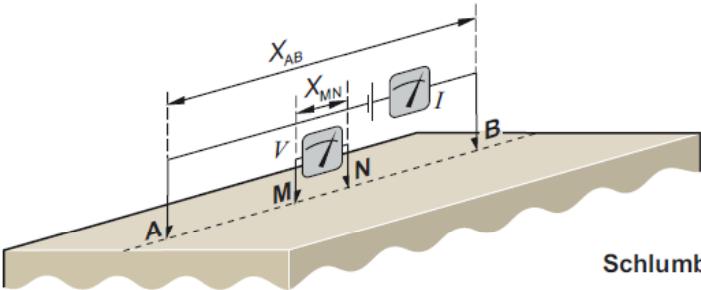
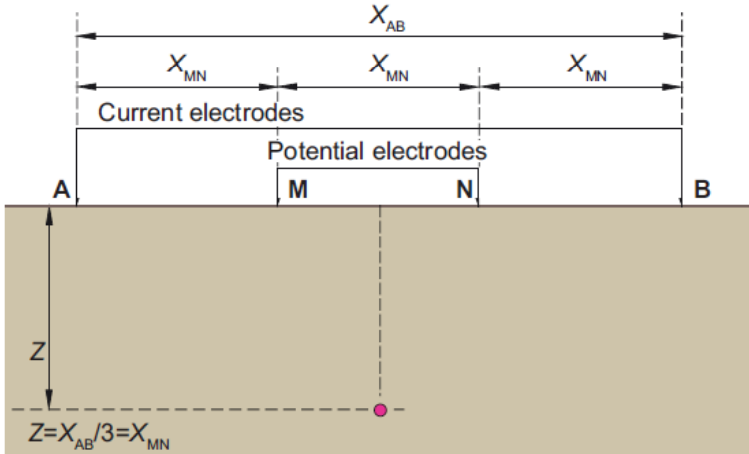
Pseudoprofundidad para distintos tendidos



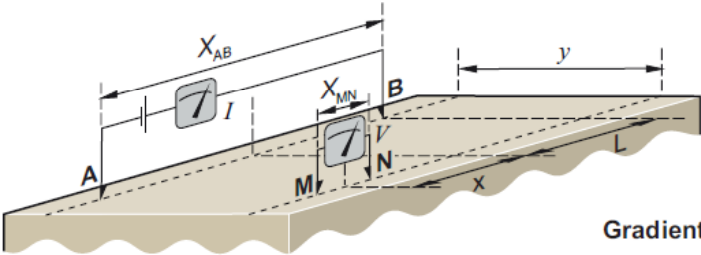
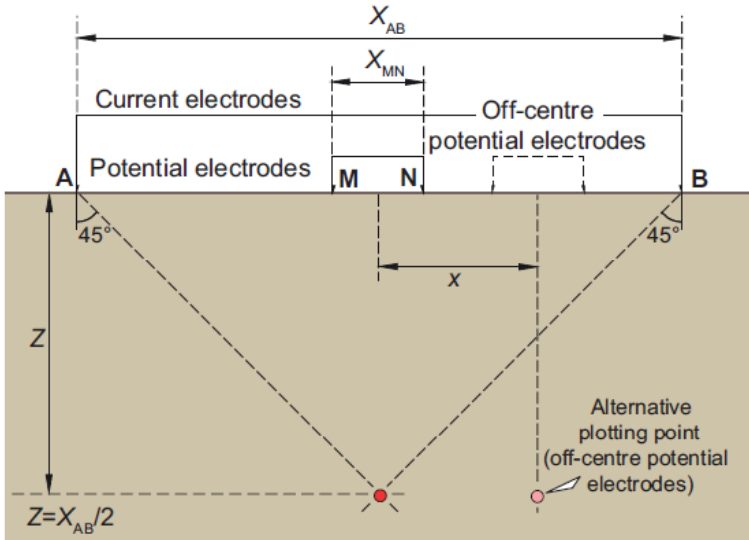
Dipole-dipole



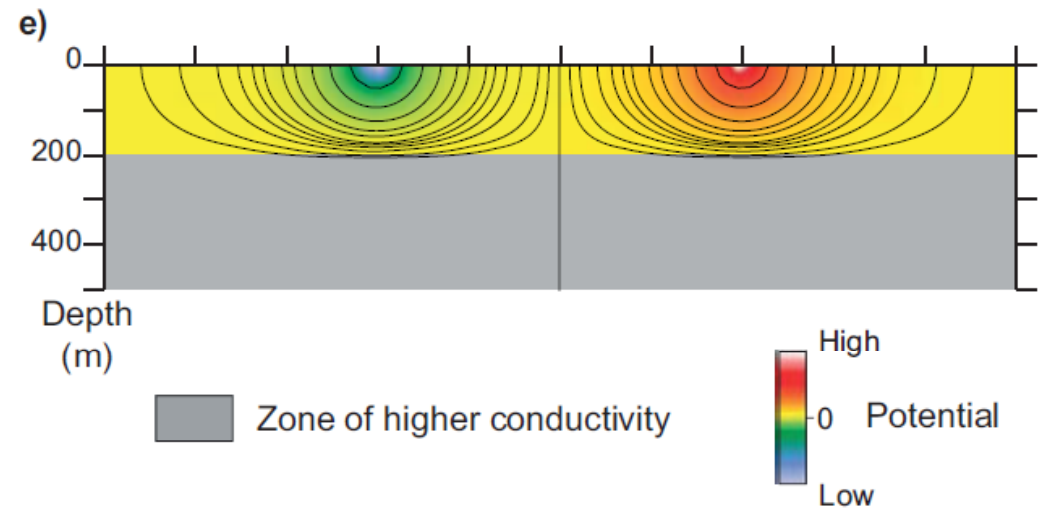
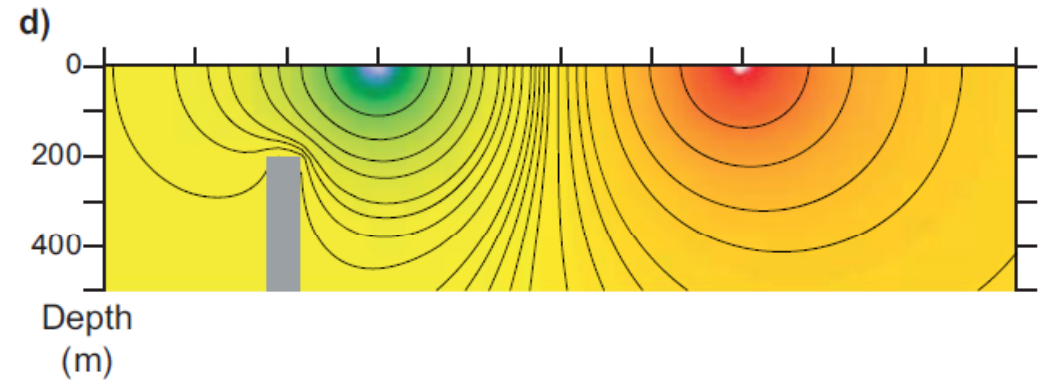
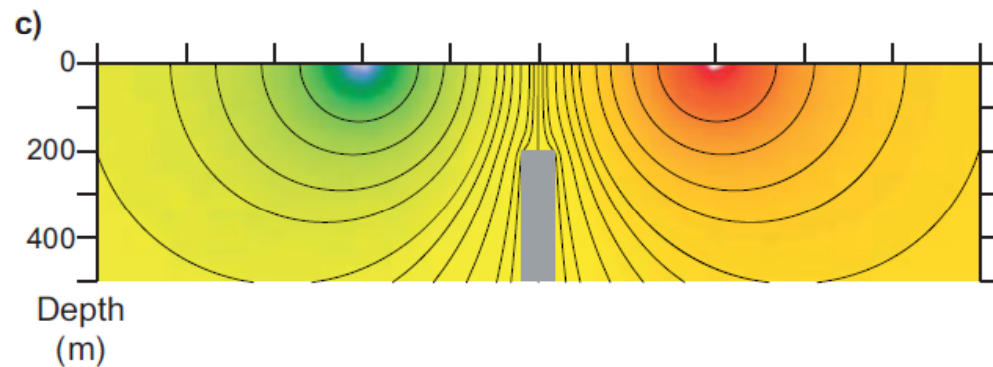
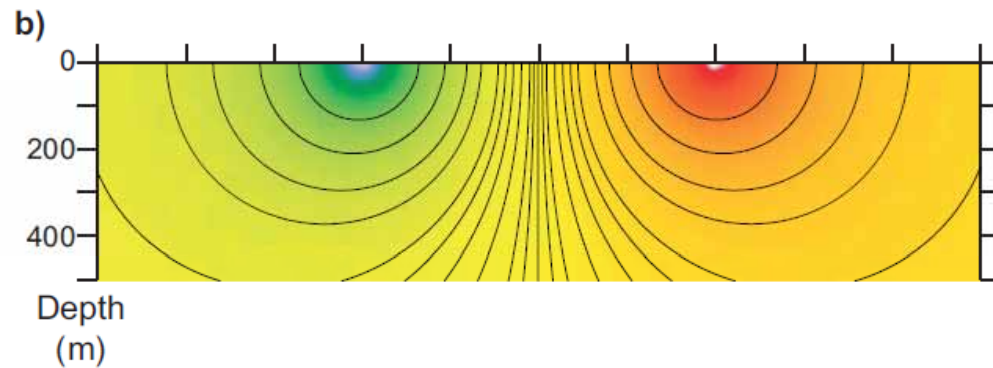
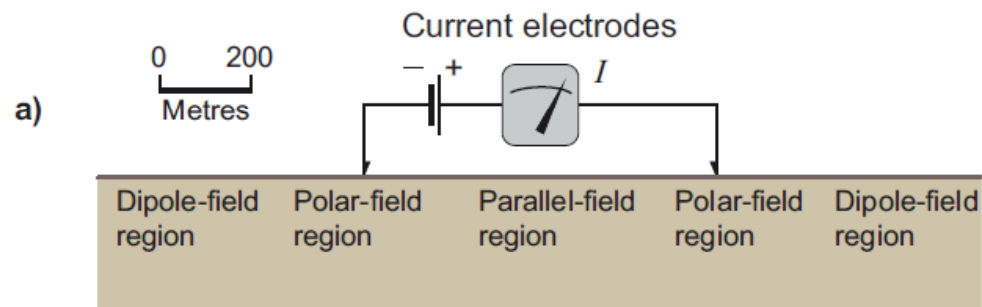
Wenner



Schlumberger



Gradient



Los tendidos que miden diferencia de potencial en la zona de campo paralelo (ej. Wenner, Schlumberger) son más sensibles a cambios de resistividad en la vertical, es decir, a contrastes horizontales.

Los que lo hacen en la zona de campo dipolar (dipolo-dipolo, polo-dipolo), son más sensibles a contrastes verticales.

Características de los tendidos más comunes

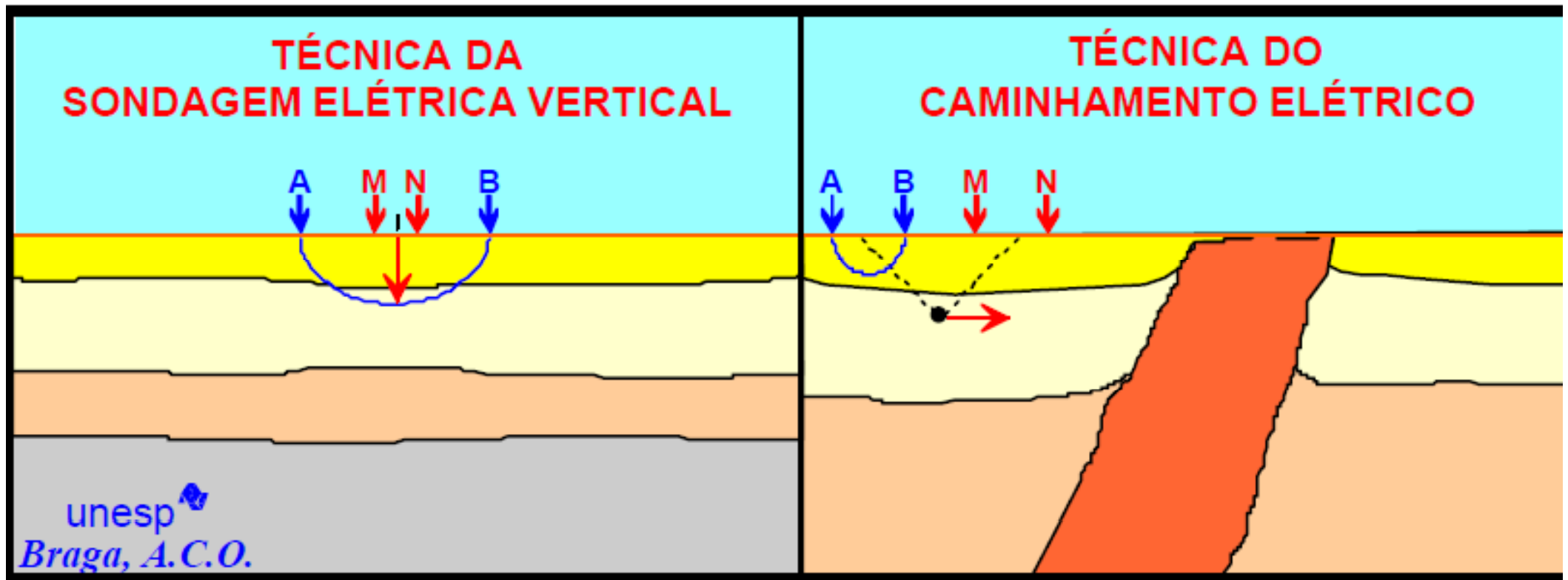
Tendido	Ventajas	Desventajas
Wenner	<ol style="list-style-type: none">1. ρ_a fácil de calcular en el campo2. Requiere menos sensibilidad del instrumento	<ol style="list-style-type: none">1. Hay que mover todos los electrodos en cada disparo2. Sensible a variaciones someras locales3. Cables largos para grandes profundidades
Schlumberger	<ol style="list-style-type: none">1. Menos electrodos para mover en cada disparo2. Cables de potencial más cortos	<ol style="list-style-type: none">1. Puede ser confuso en el campo2. Requiere equipo más sensible3. Cables de corriente largos
Dipolo-Dipolo	<ol style="list-style-type: none">1. Cables más cortos para relevamientos más profundos	<ol style="list-style-type: none">1. Requiere gran corriente2. Requiere equipo más sensible

Sondeo eléctrico vertical (SEV):

se obtienen datos de niveles más profundos, aumentando la apertura de electrodos de corriente, pero manteniendo fijo el centro del tendido

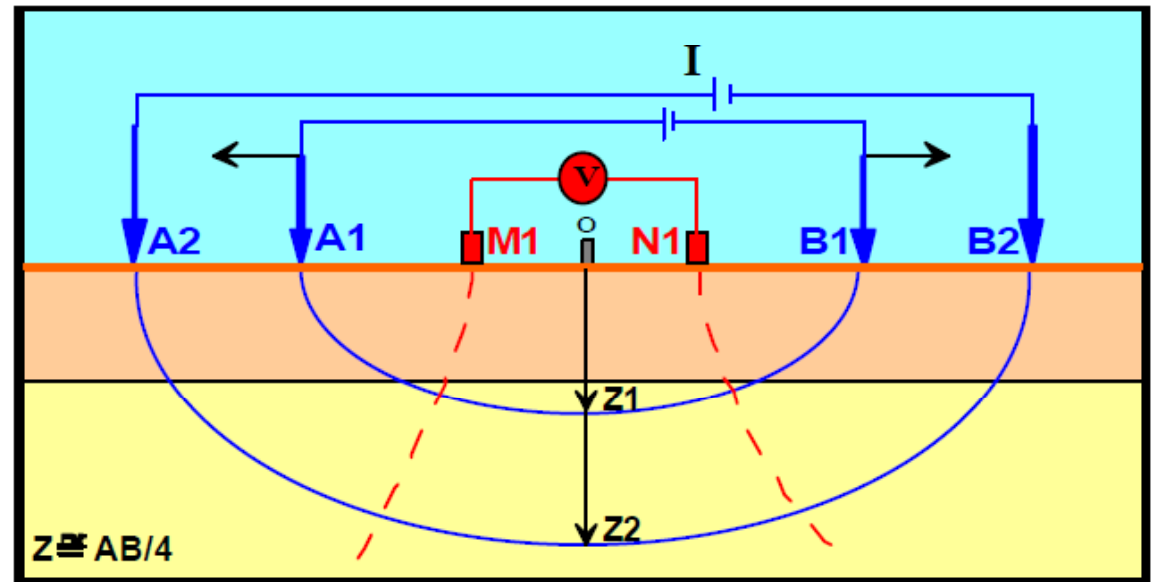
Perfil a profundidad constante:

se mantiene constante la apertura de electrodos de corriente (profundidad), y se desplaza lateralmente el tendido



Sondeo eléctrico vertical (SEV)

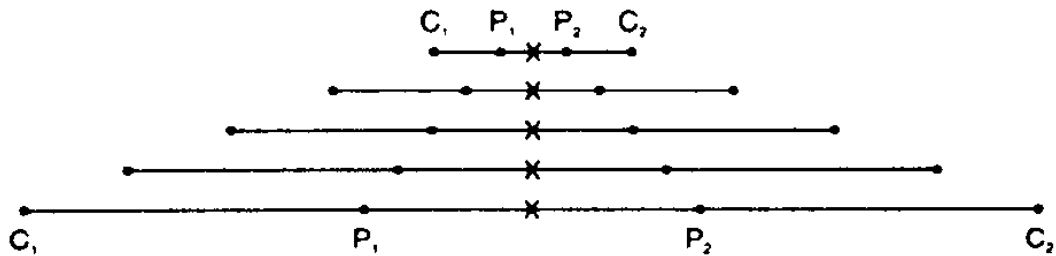
- El objetivo es determinar cómo cambia la resistividad con la profundidad
- Se hacen muchas mediciones con distintas separaciones de electrodos, y por lo tanto con distinta sensibilidad en profundidad
- Se usa cuando se presume que el subsuelo se aproxima a capas paralelas (horizontales) de distintas resistividades, que son homogéneas en cada capa



EL TENDIDO SE EXPANDE DESDE UN CENTRO FIJO

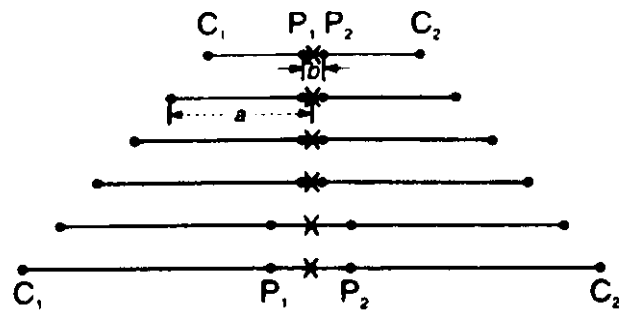
Sondeo eléctrico vertical (SEV)

El centro del tendido se mantiene fijo. Se aumenta logarítmicamente el espaciado de electrodos.



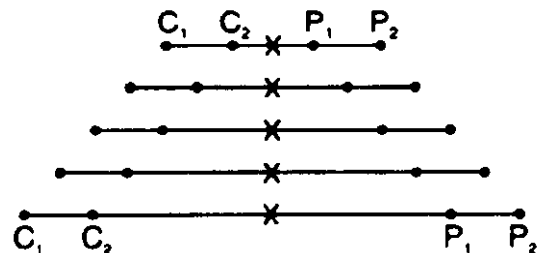
$a = 1$ units
 $a = 2$
 $a = 3$
 $a = 4$
 $a = 5$

Wenner: el valor de a se multiplica



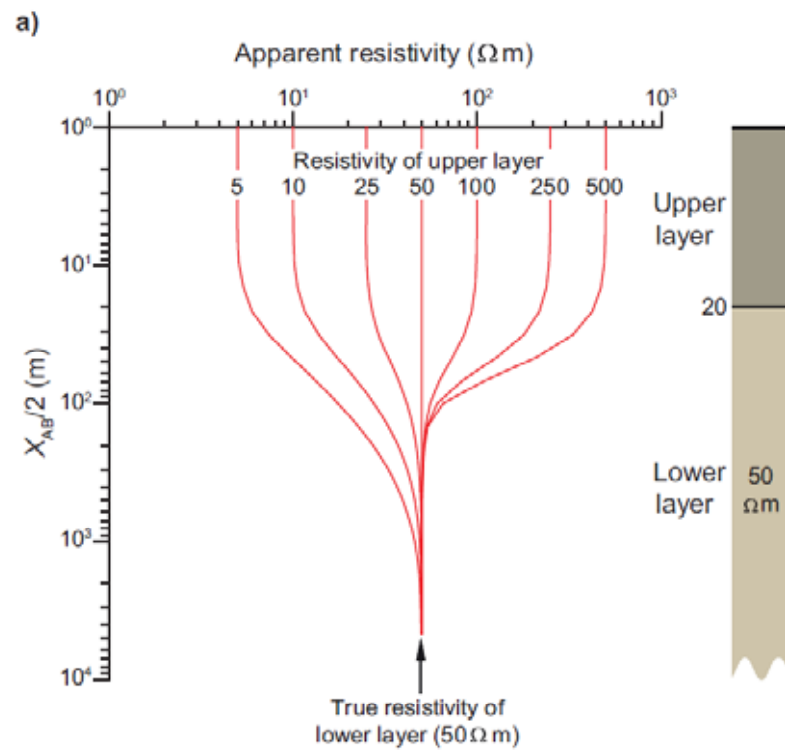
a_1, b_1
 a_2, b_1
 a_3, b_1
 a_4, b_1
 a_5, b_2
 a_6, b_2

Schlumberger: el valor de a aumenta y el de b se mantiene constante mientras sea posible



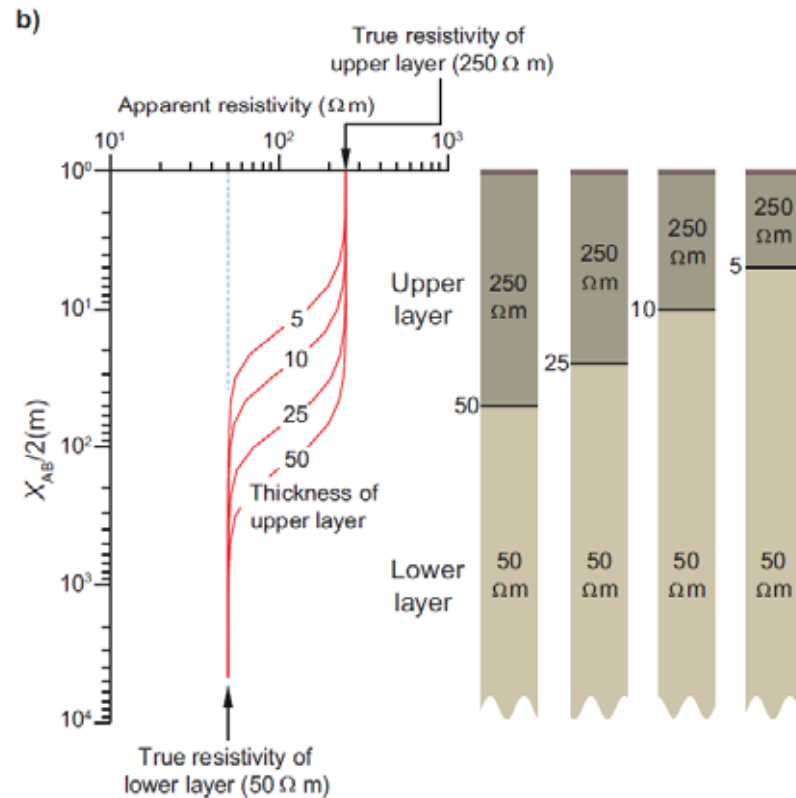
$n = 1$
 $n = 2$
 $n = 3$
 $n = 4$
 $n = 5$

Dipolo-dipolo: el valor de n se multiplica



La resistividad aparente obtenida en cada disparo se grafica en función de algún parámetro relacionado con la profundidad.

Dos capas: el efecto de la interfase se manifiesta de modo distinto dependiendo del contraste de resistividades.



Tres o más capas: puede considerarse como una serie de sistemas de dos capas, superpuestos.

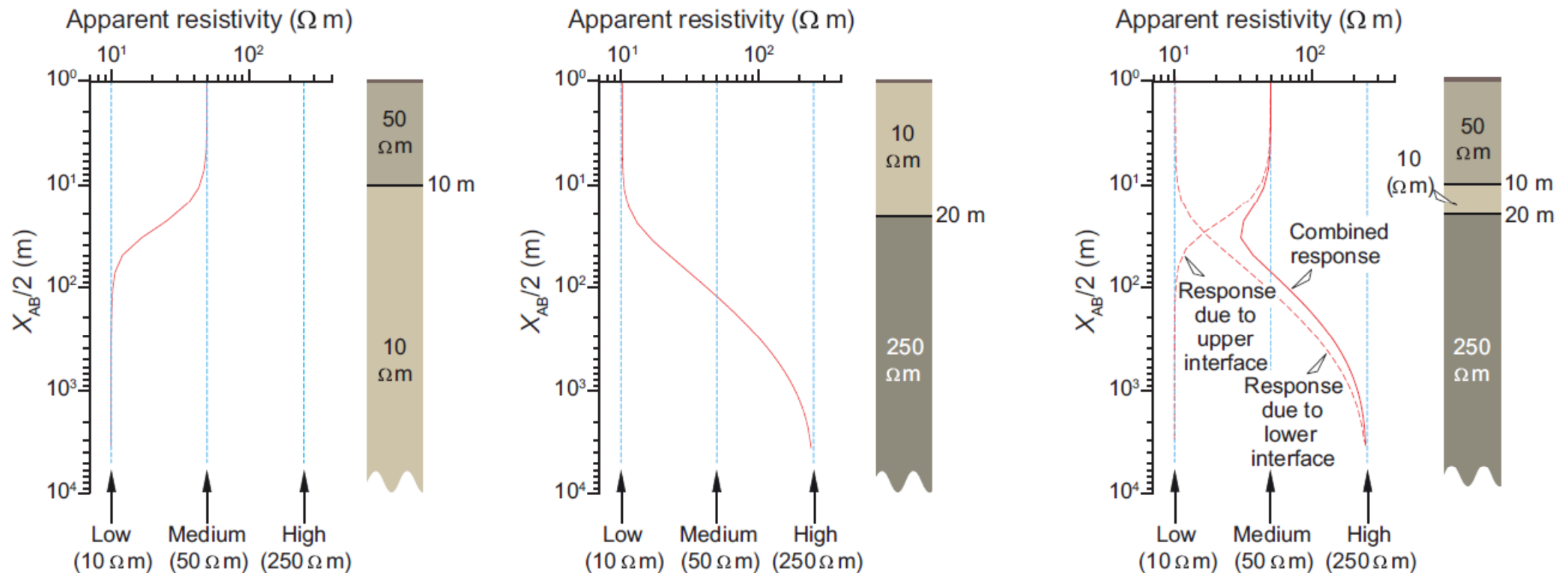
'Upper' 2-layer case

+

'Lower' 2-layer case

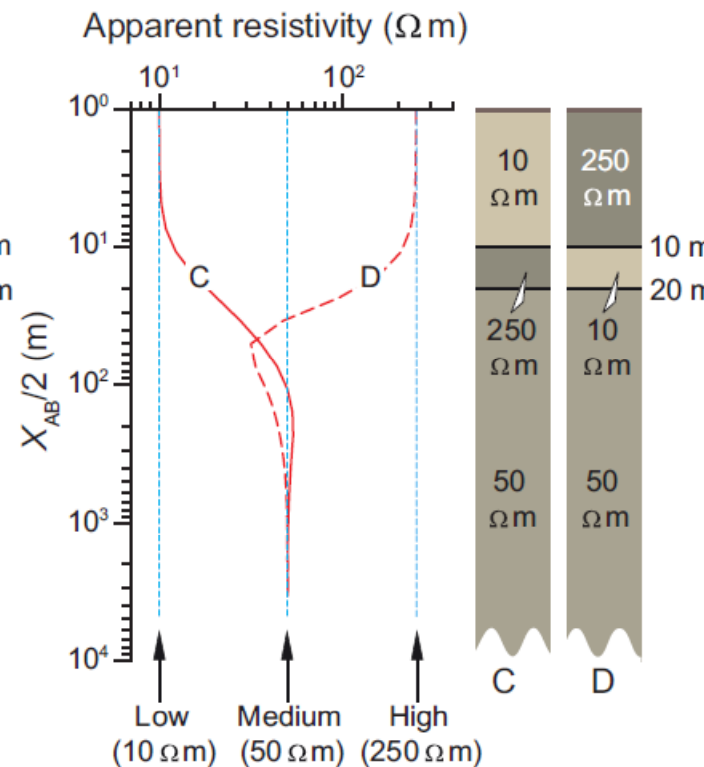
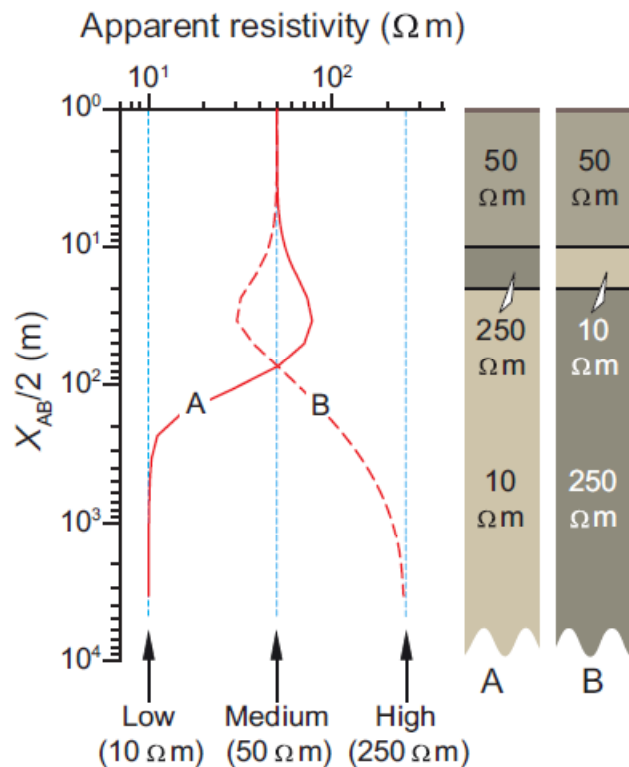
=

3-layer case

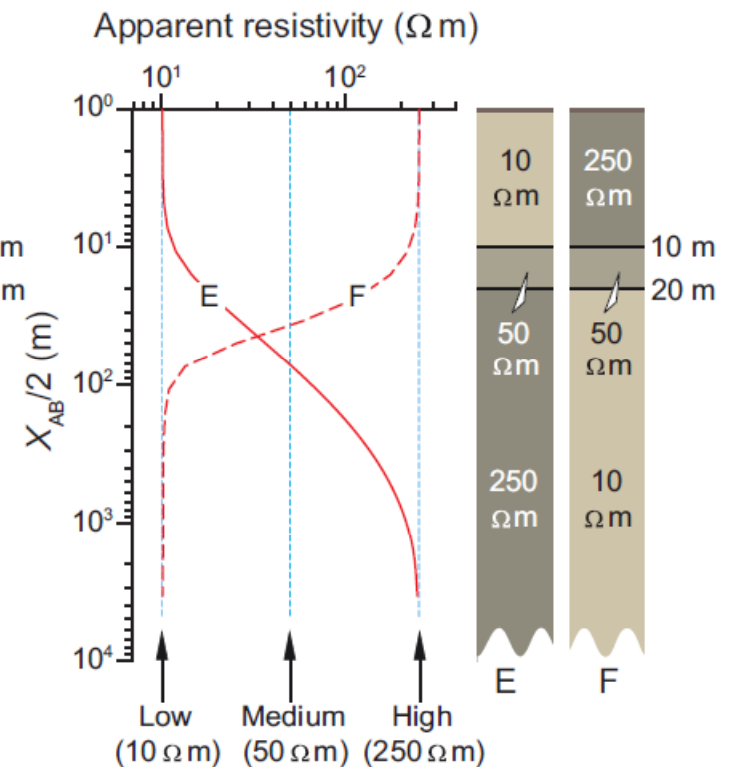


Casos de tres capas

Combinaciones en las que la capa intermedia tiene mayor o menor resistividad que las otras dos



La segunda capa tiene resistividad intermedia

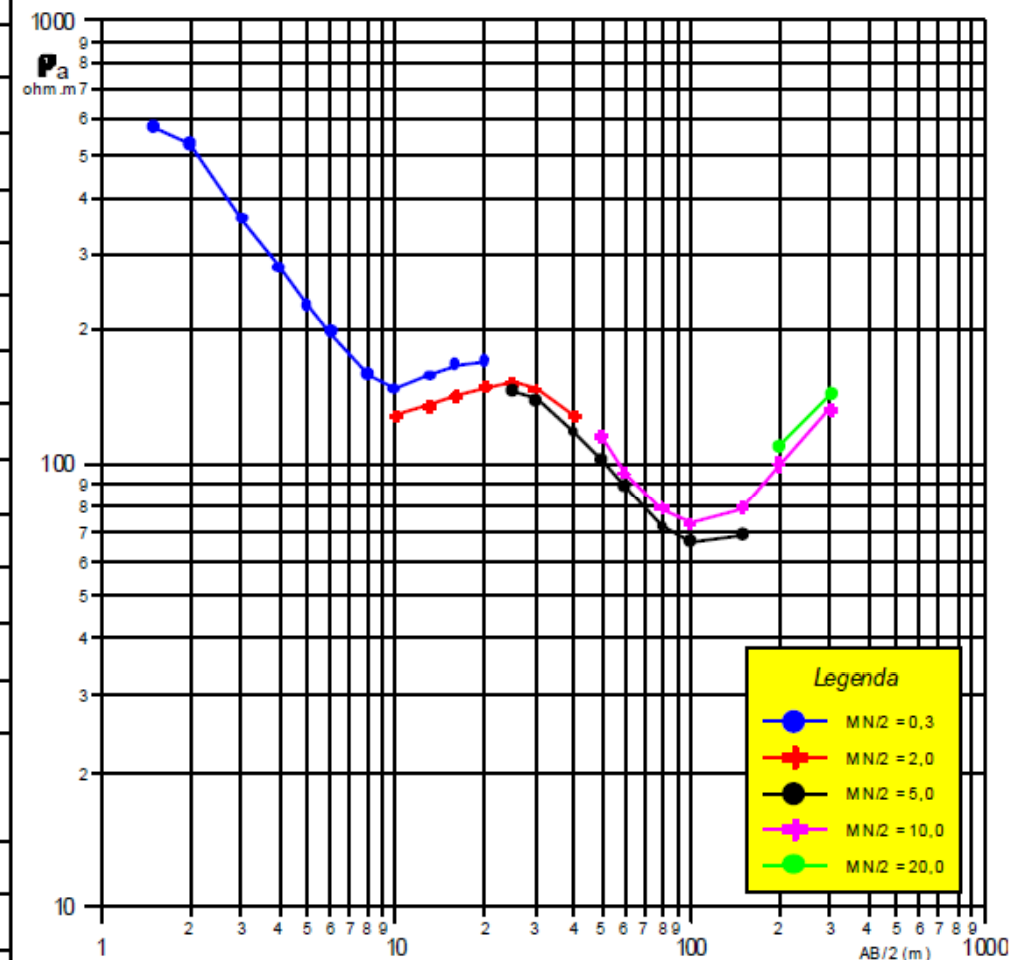


Equivalencia de capas: distintas combinaciones de espesor/resistividad de la segunda capa pueden generar respuestas idénticas (ambigüedad)

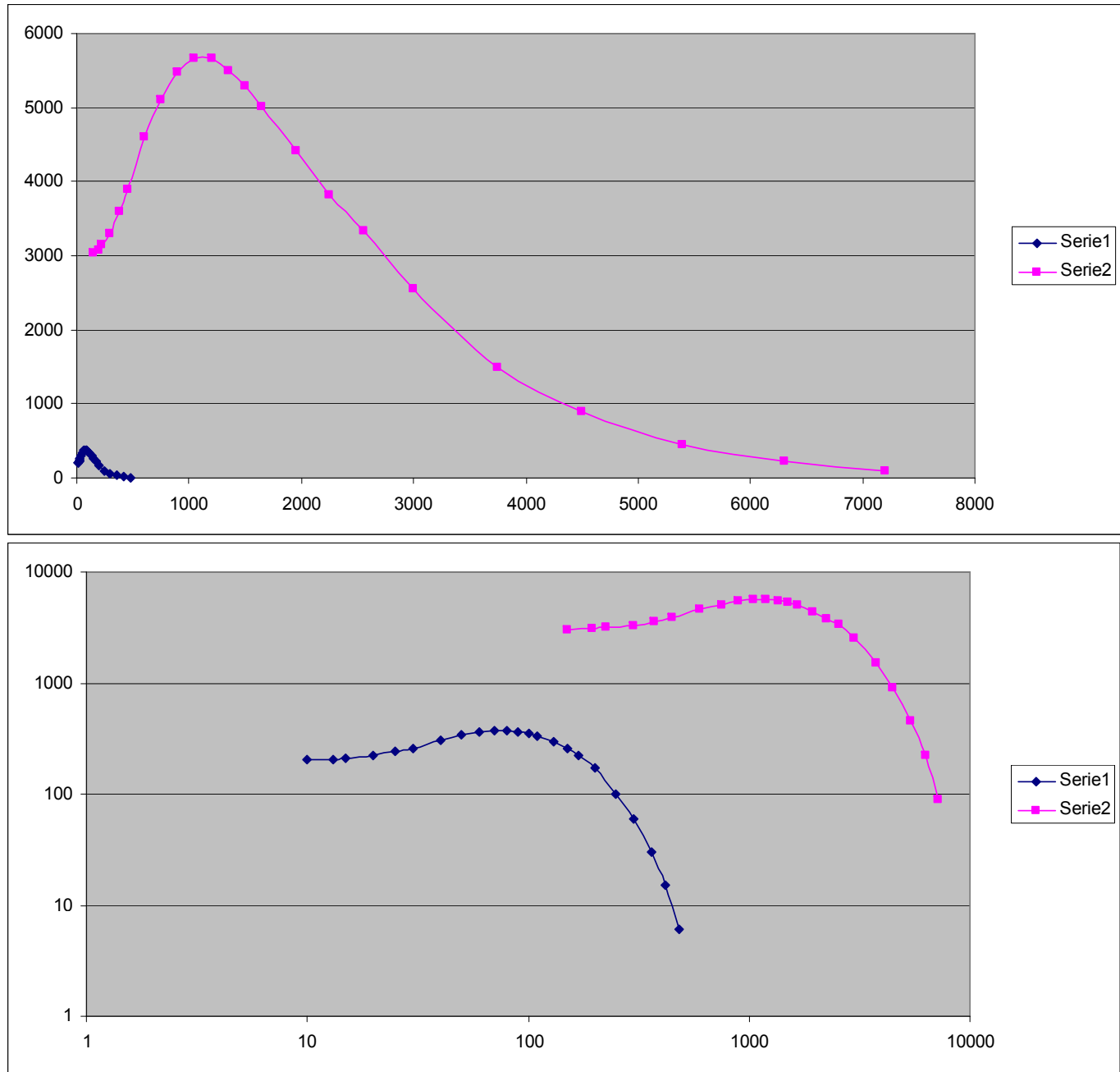
Supresión de capas

AB/2	MN/2	K	ΔV	I	ρ
1,5	0,3	11,31	15300,00	300	576
2	0,3	20,47	8200,00	318	527
3	0,3	46,65	2990,00	389	358
4	0,3	83,3	1300,00	390	277
5	0,3	130,43	657,00	373	229
6	0,3	188,02	401,00	379	198
8	0,3	334,63	165,00	348	158
10	0,3	523,13	93,00	331	147
10	2,0	75,4	360,00	211	128
13	0,3	884,41	59,00	330	158
13	2,0	129,59	220,00	211	135
16	0,3	1339,94	53,00	422	168
16	2,0	197,92	194,00	270	142
20	0,3	2093,92	31,00	382	170
20	2,0	311,02	117,00	244	149
25	2,0	487,73	97,00	311	152
25	5,0	188,5	238,85	311	145
30	2,0	703,72	69,00	330	147
30	5,0	274,89	168,00	330	139
40	2,0	1253,5	32,70	320	128
40	5,0	494,8	76,60	320	118
50	5,0	777,54	43,00	328	101
50	10,0	376,99	100,06	328	115
60	5,0	1123,12	18,20	230	88
60	10,0	549,78	39,74	230	95
80	5,0	2002,77	8,10	226	71
80	10,0	989,6	18,04	226	79

AB/2	MN/2	K	ΔV	I	ρ
100	5,0	3133,74	8,49	400	66
100	10,0	1555,09	18,78	400	73
150	5,0	7060,73	5,80	594	69
150	10,0	3518,58	13,34	594	79
200	10,0	6267,48	7,98	500	100
200	20,0	3110,18	17,68	500	110
300	10,0	14121,46	4,24	450	133
300	20,0	7037,17	9,14	450	143



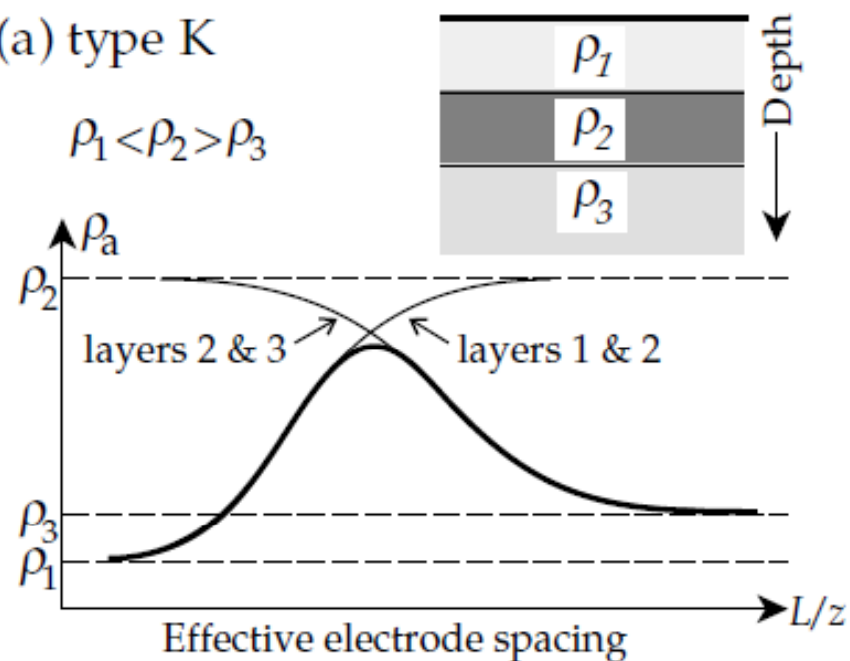
¿Por qué la escala bilogarítmica?



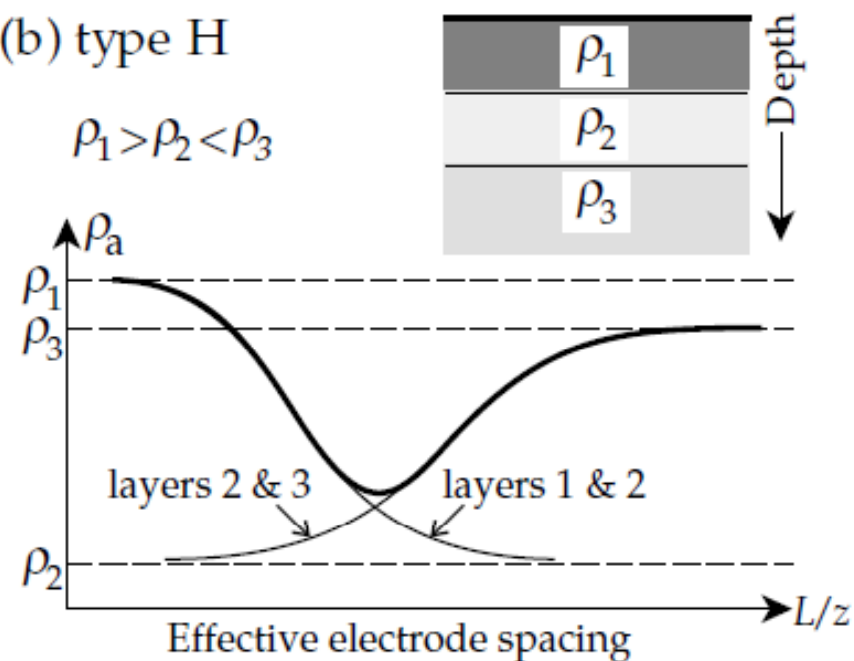
... porque facilita la comparación de relevamientos de distintas escalas entre sí, y con curvas patrón

Interpretación cualitativa

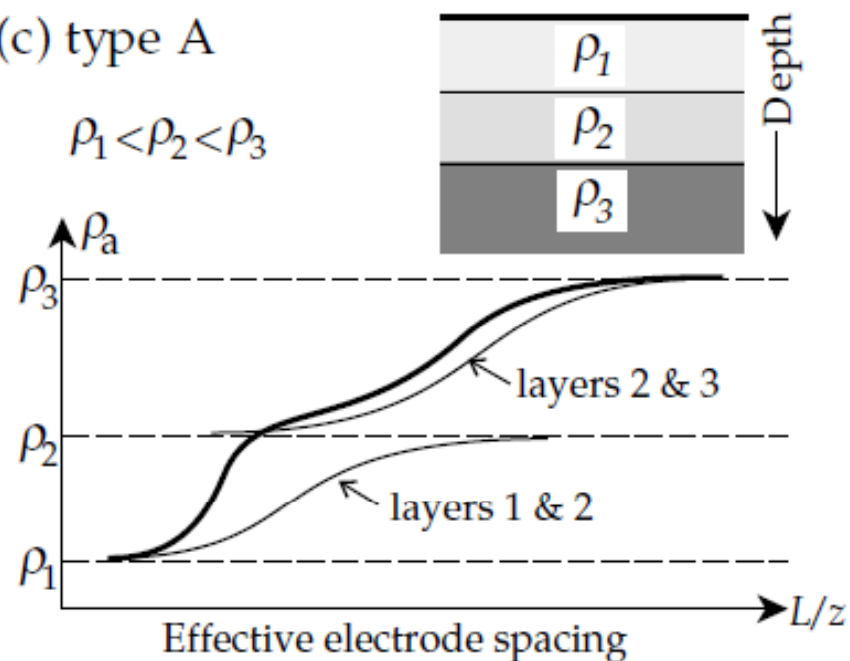
(a) type K



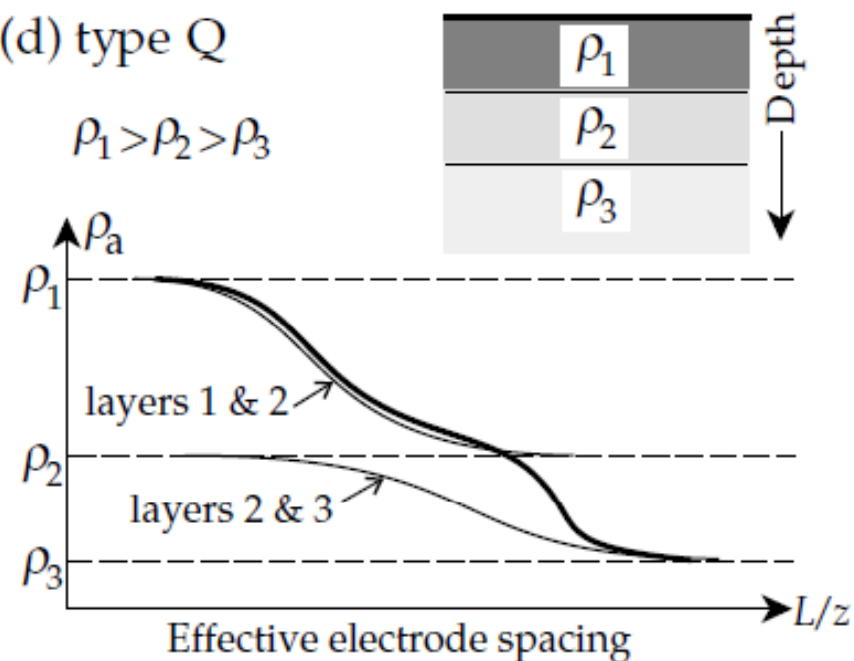
(b) type H



(c) type A



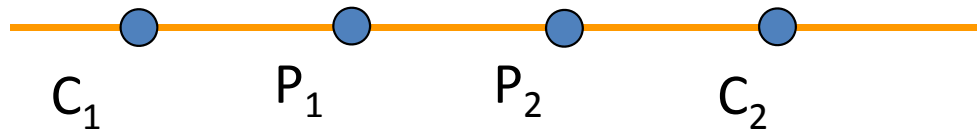
(d) type Q



Interpretación cualitativa

- La cantidad de inflexiones de las curvas del SEV está relacionada con la cantidad de unidades geoelectricas presentes
- El valor asintótico inicial es la resistividad de la primera capa
- El valor asintótico final es la resistividad del semiespacio más profundo
- La forma de la curva está condicionada por las relaciones de *espesores Y DE resistividades* de las capas sucesivas

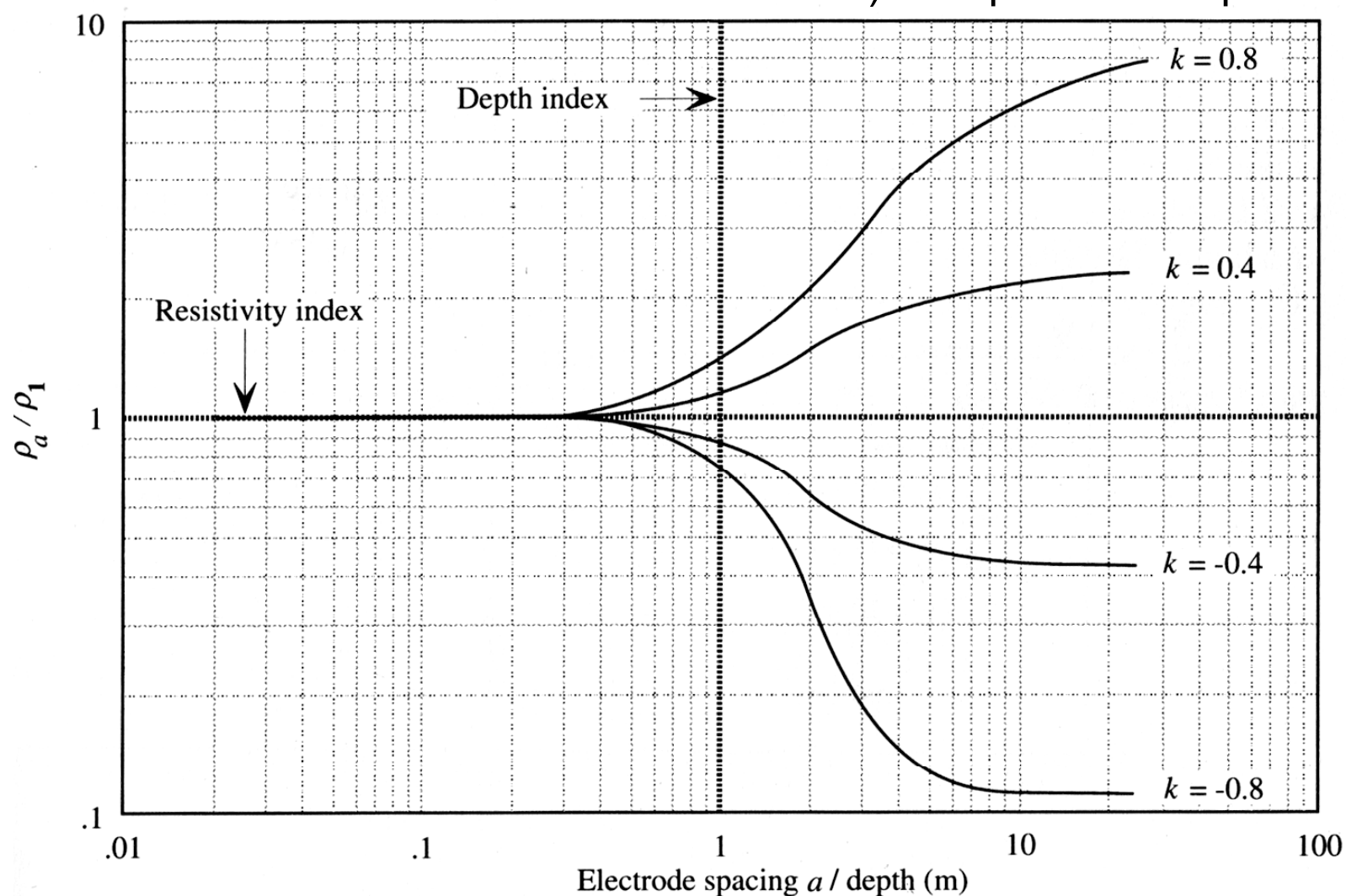
Interpretación cuantitativa



Soluciones para un tendido Wenner y dos capas

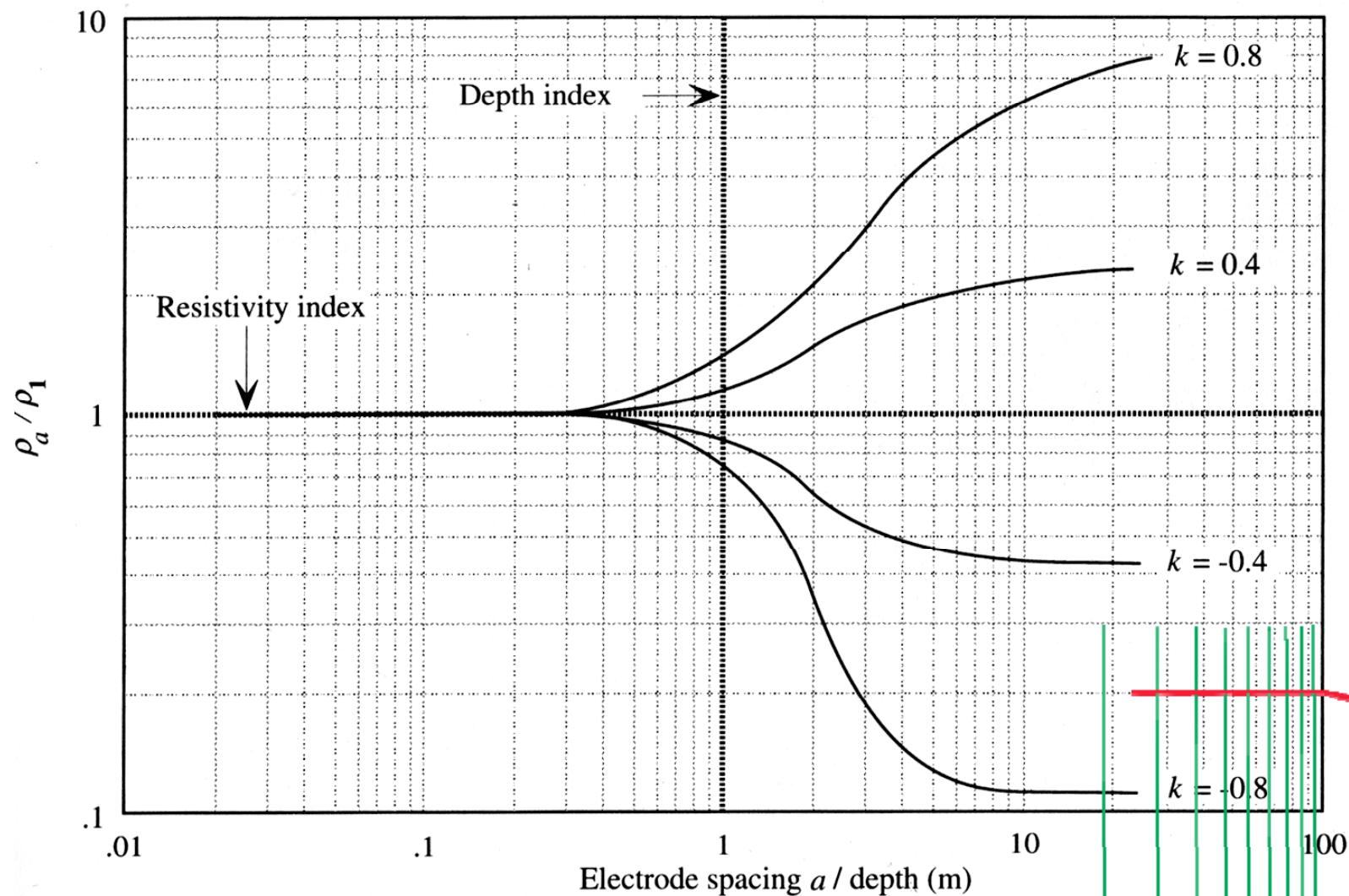
Curvas patrón normalizadas a

- 1) la resistividad de la primera capa
- 2) el espesor de la primera capa



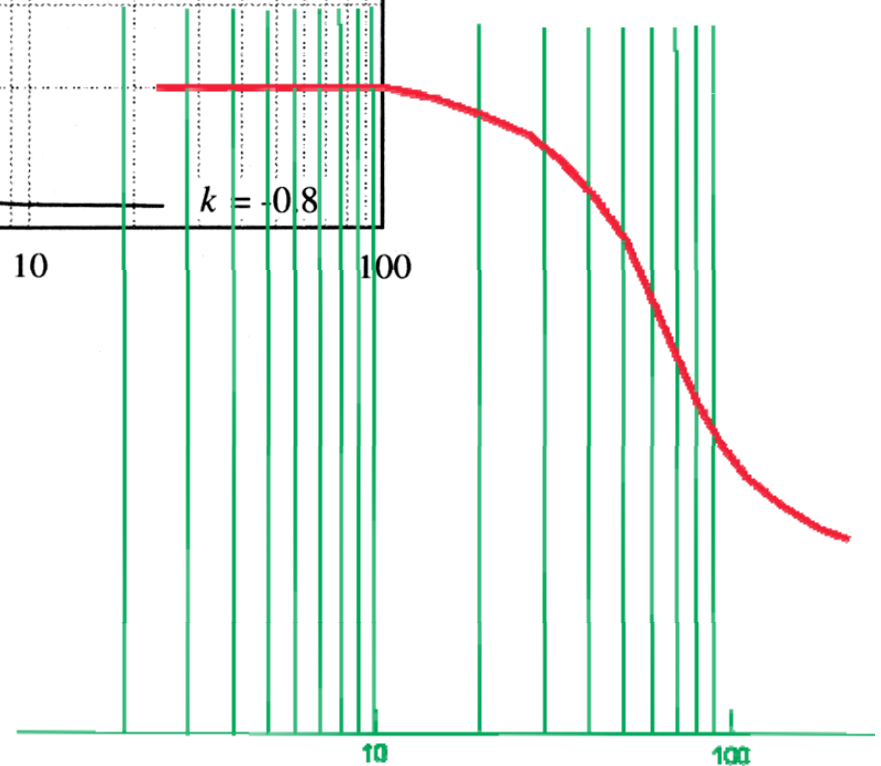
Coeficiente de reflexión:

$$k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$$

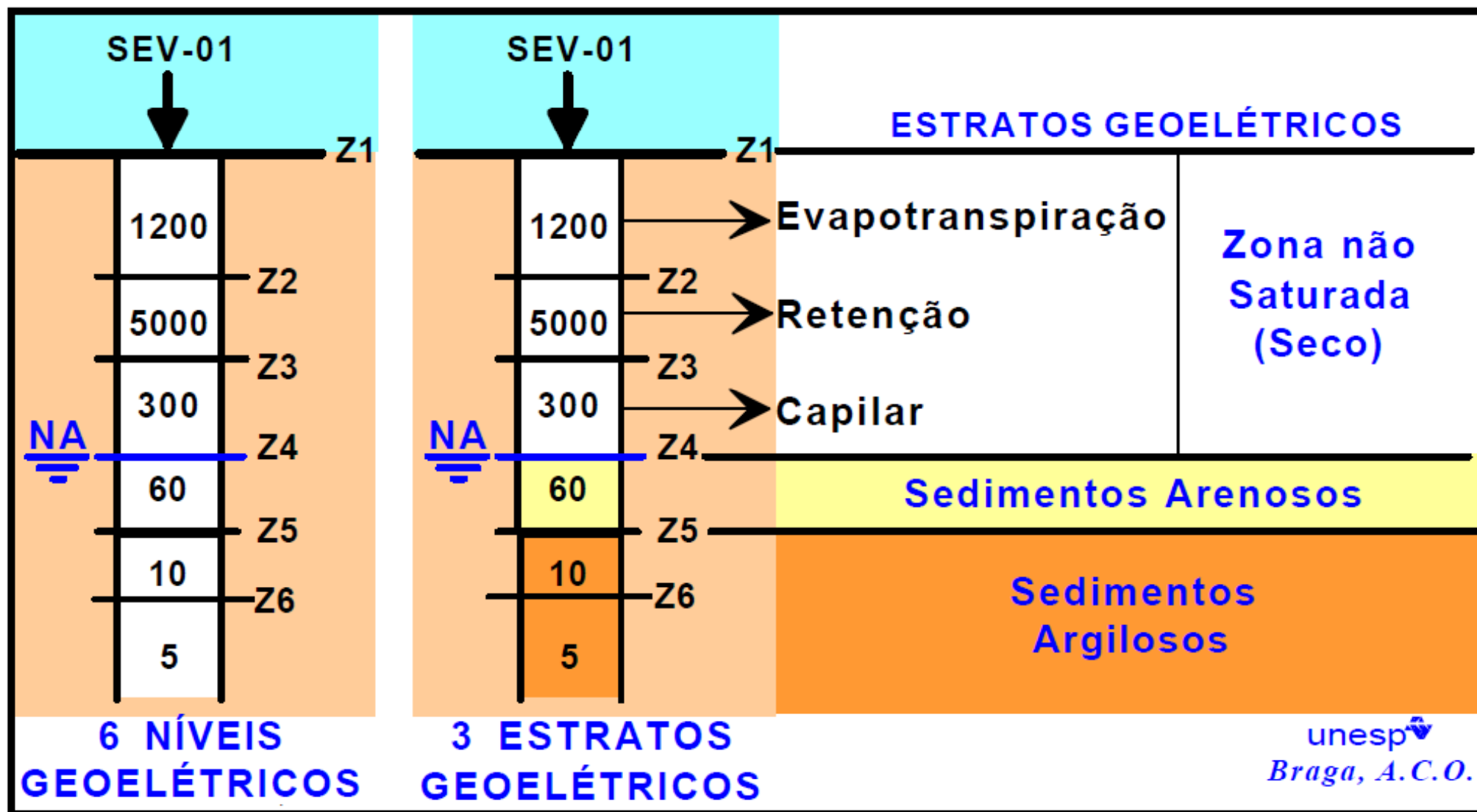


Para cada sistema de dos capas se lee la profundidad de la interfase y la relación de resistividades

Software de modelado 1D



Interpretación geológica



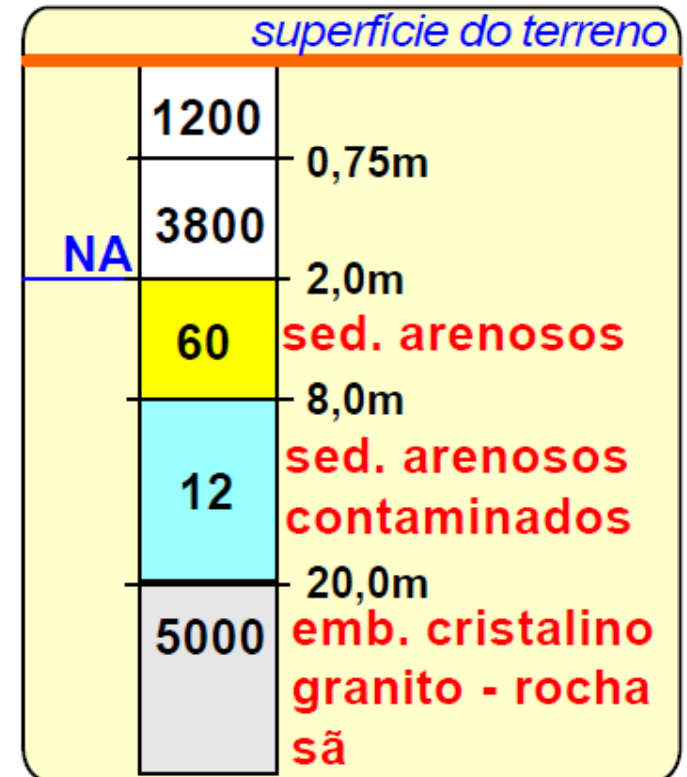
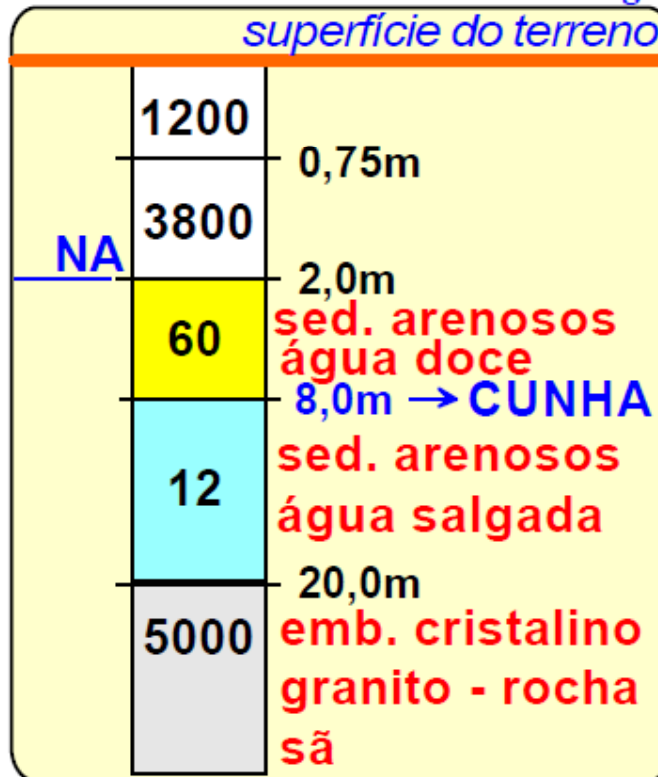
Las capas geológicas no necesariamente coinciden con las unidades geoeléctricas

SITUAÇÃO 1
Grupo Tubarão
Sorocaba/SP

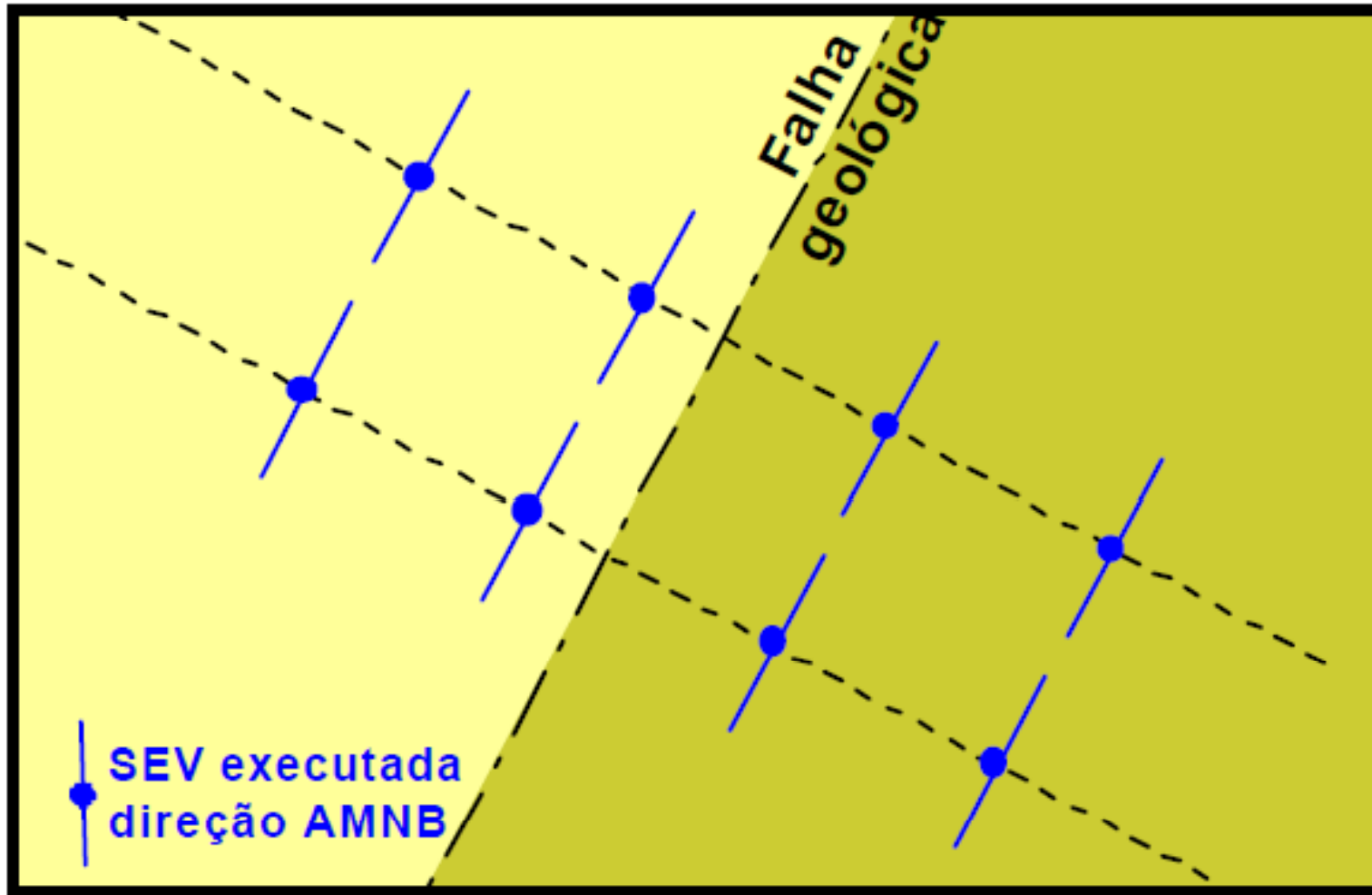
SITUAÇÃO
Zona Costeira
Litoral Norte/SP

SITUAÇÃO 3
Área de Aterro
sed. arenosos

unesp
Braga, A.C.O.



El gran espectro de variación de propiedades eléctricas de las rocas abre un abanico de múltiples posibles interpretaciones geológicas, para el mismo modelo de propiedades físicas.



La interpretación del SEV asume que las capas eléctricas son horizontales. En casos de estratos inclinados, una solución de compromiso es realizar los SEV paralelos al rumbo de los estratos y/o a las estructuras.

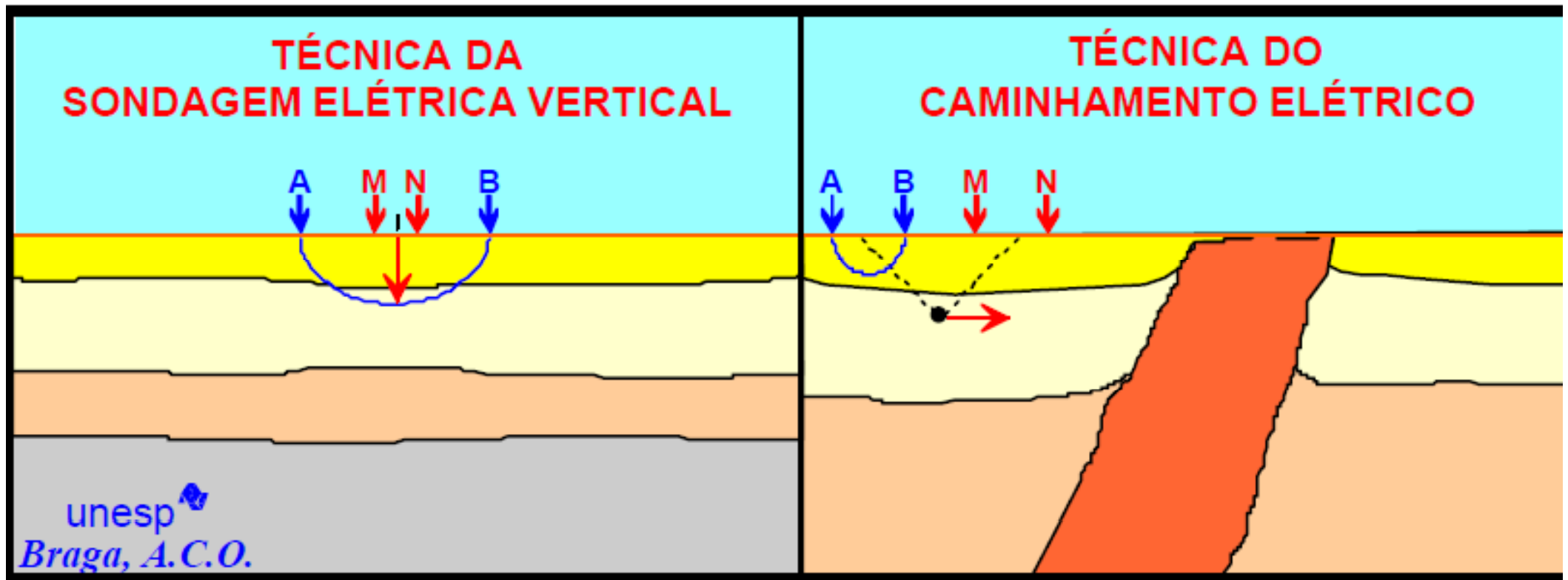
TÉCNICA	Profundidade Teórica de Investigação (m)	Espaçamento dos eletrodos (m)	Produção por Dia (SEV)	Equipe Necessária	Custo Unitário por SEV (R\$)
Sondagem Elétrica Vertical <i>Arranjo Schlumberger</i>	até 50	AB = 200	10 a 12	<ul style="list-style-type: none"> ● 1 geofísico ● 2 ajudantes 	200,00
	até 100	AB = 400	5 a 7	<ul style="list-style-type: none"> ● 1 geofísico ● 3 ajudantes 	300,00 a 500,00
	até 250	AB = 1.000	3 a 4	<ul style="list-style-type: none"> ● 1 geofísico ● 1 técnico ● 3 ajudantes 	400,00 a 600,00
	até 500	AB = 2.000	1 a 2	<ul style="list-style-type: none"> ● 1 geofísico ● 2 técnicos ● 5 ajudantes 	1.500,00 a 2.000,00

Sondeo eléctrico vertical (SEV):

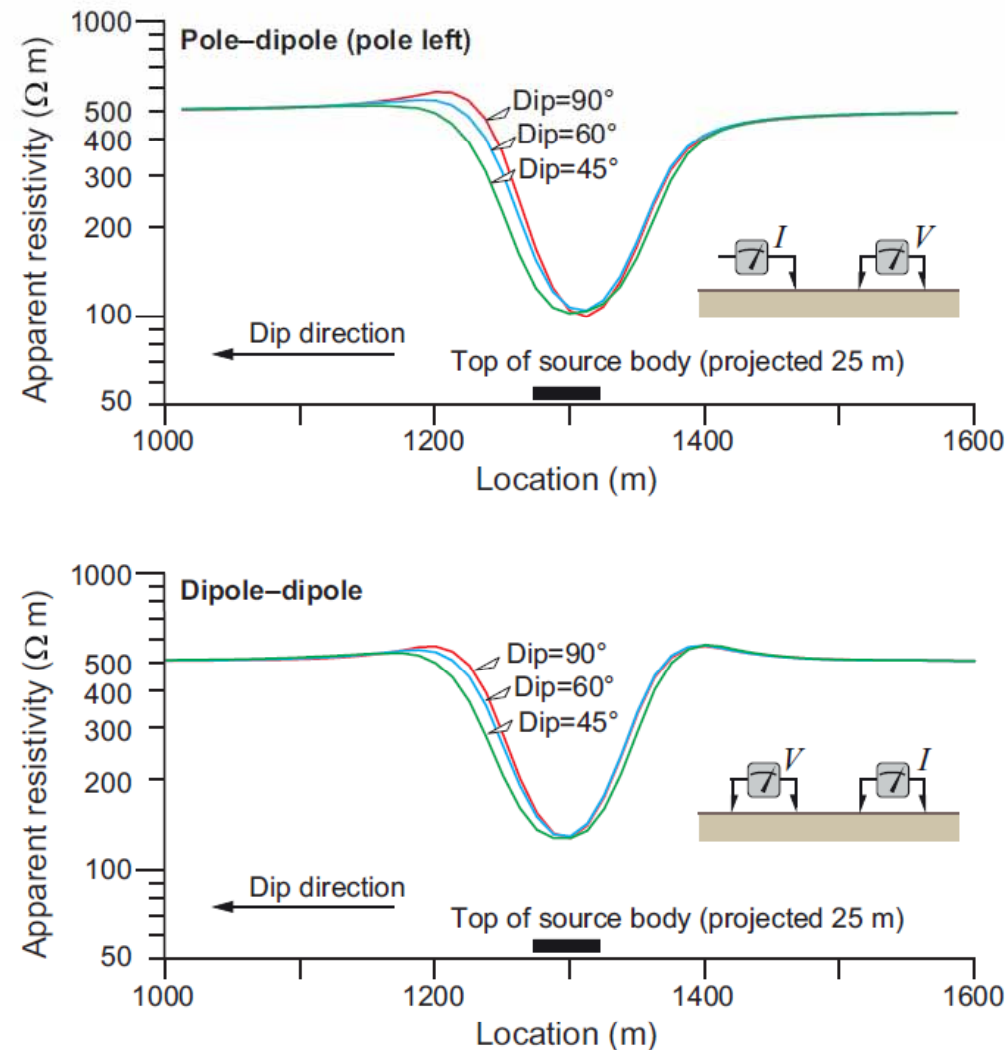
se obtienen datos de niveles más profundos, aumentando la apertura de electrodos de corriente, pero manteniendo fijo el centro del tendido

Perfil a profundidad constante:

se mantiene constante la apertura de electrodos de corriente (profundidad), y se desplaza lateralmente el tendido

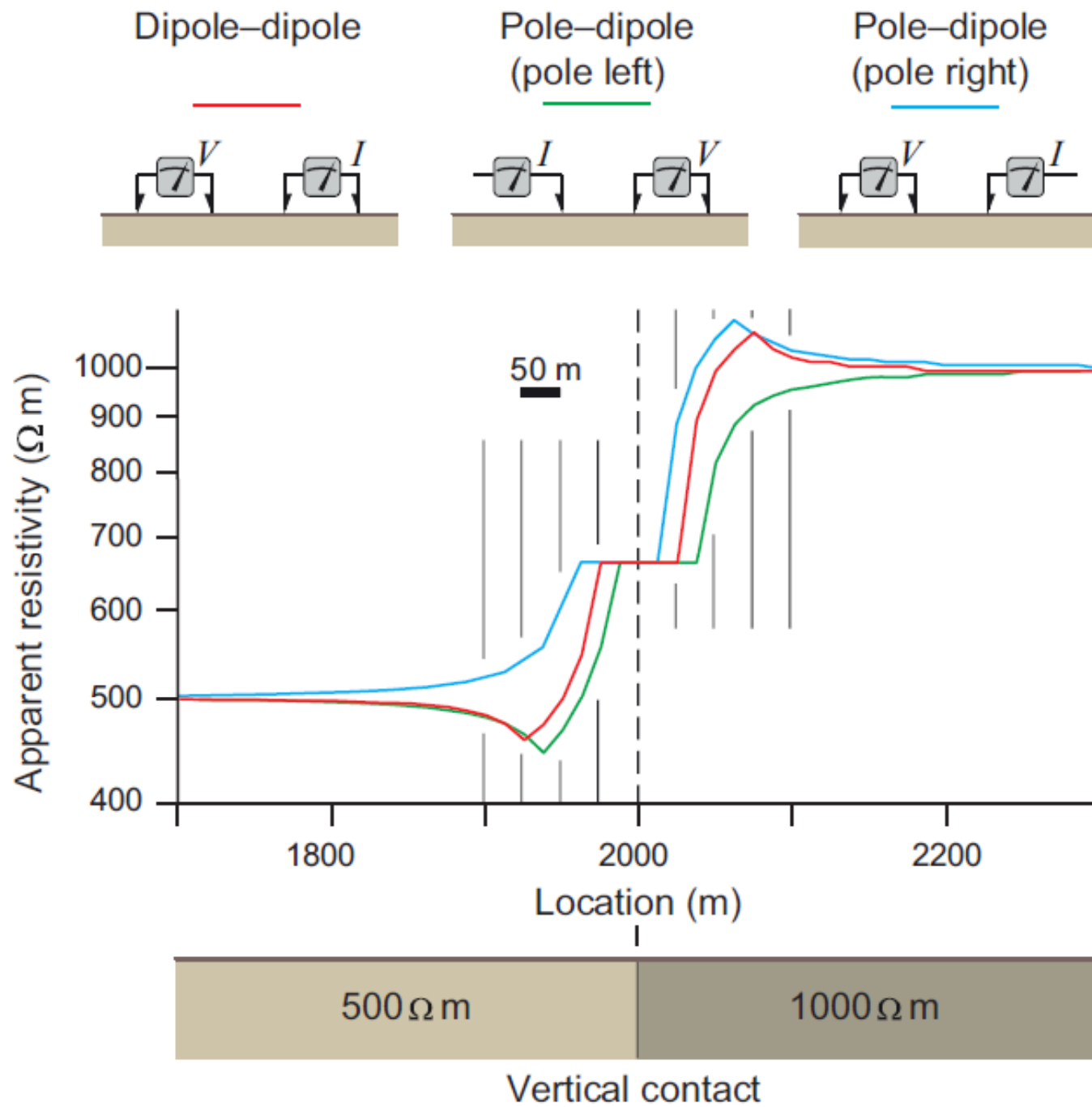


Perfil a profundidad constante



La apertura del cuadripolo permanece constante. Se desplaza al cuadripolo lateralmente a lo largo de un perfil.

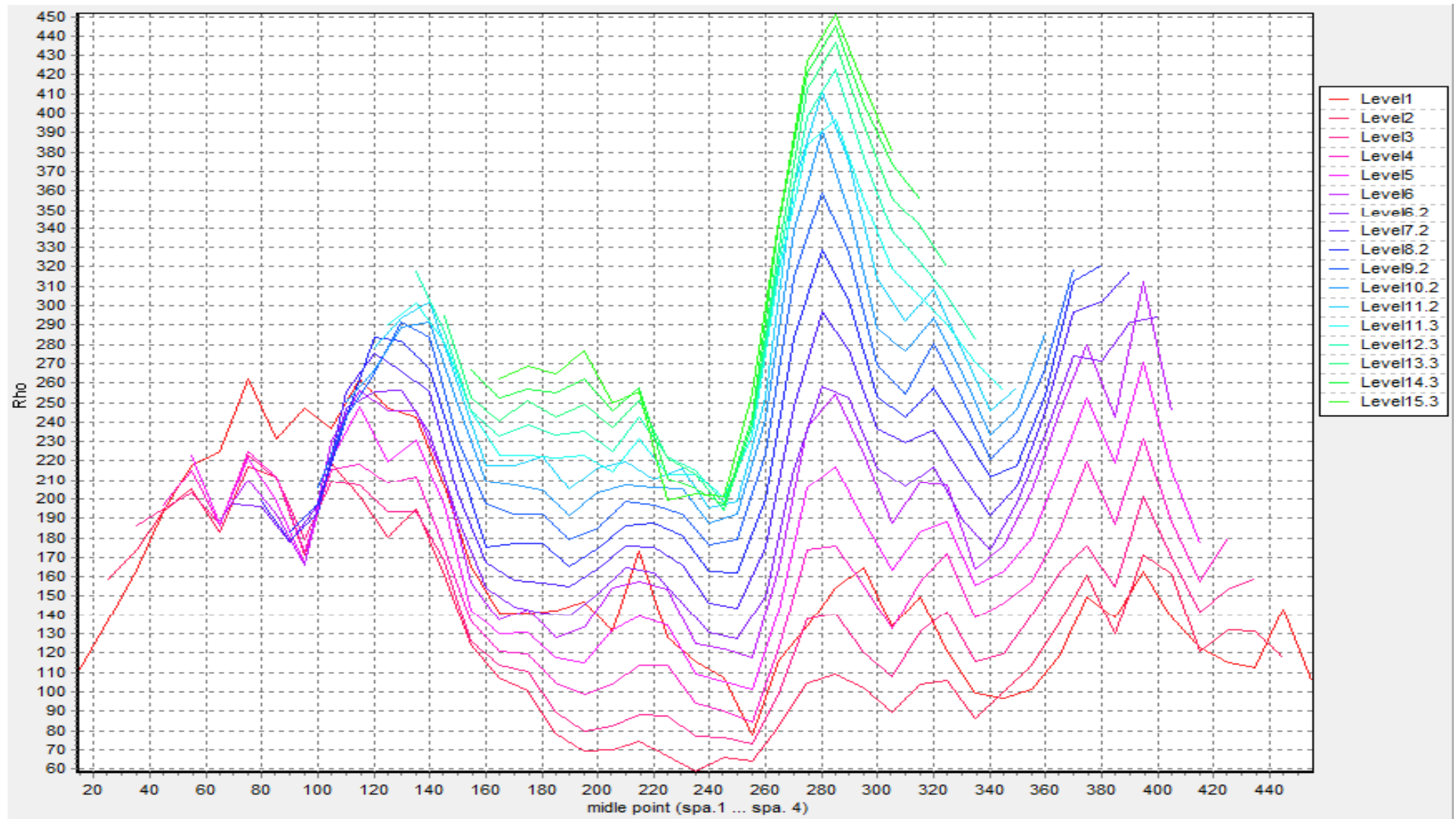
La respuesta obtenida en el perfil geoelectrico difiere según el tendido utilizado.



Las respuestas son complejas en los contactos, y varían según el tendido utilizado.

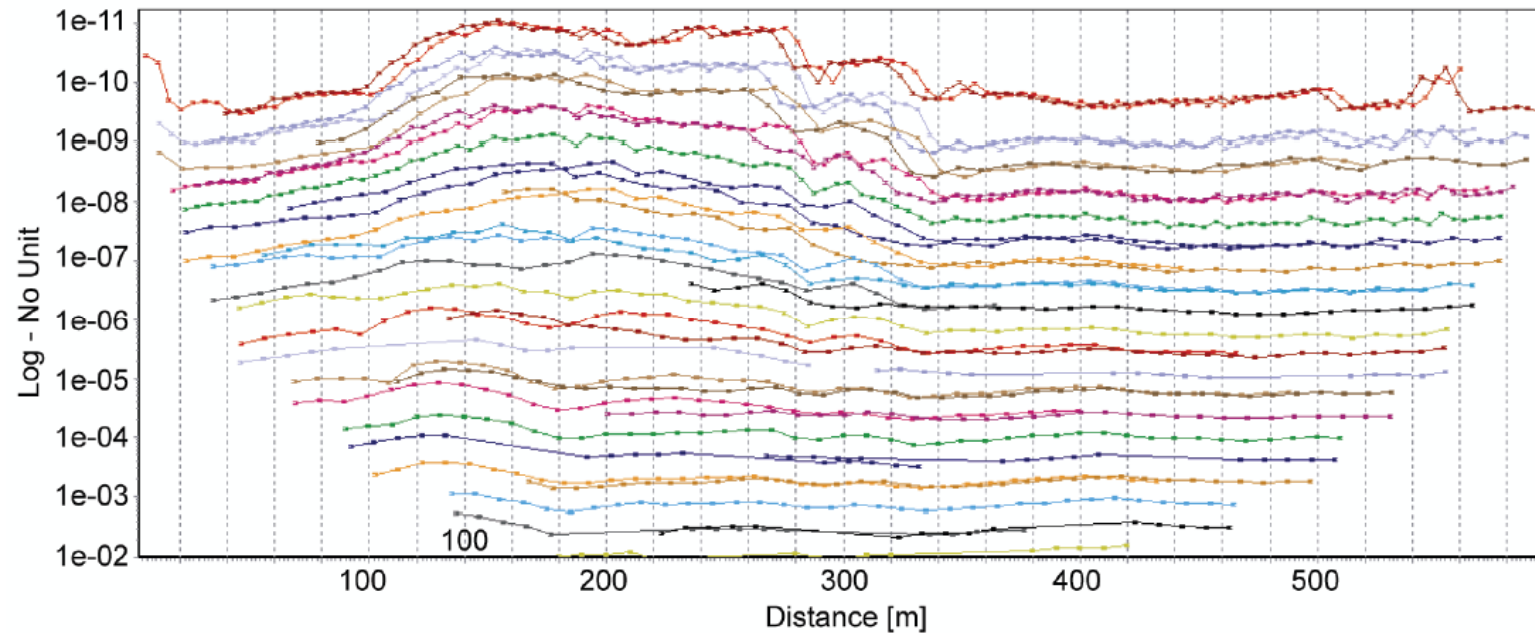
Sondeo y perfilaje combinados

- Se incrementa la separación de electrodos y también se hacen mediciones en localizaciones múltiples a lo largo del eje horizontal.

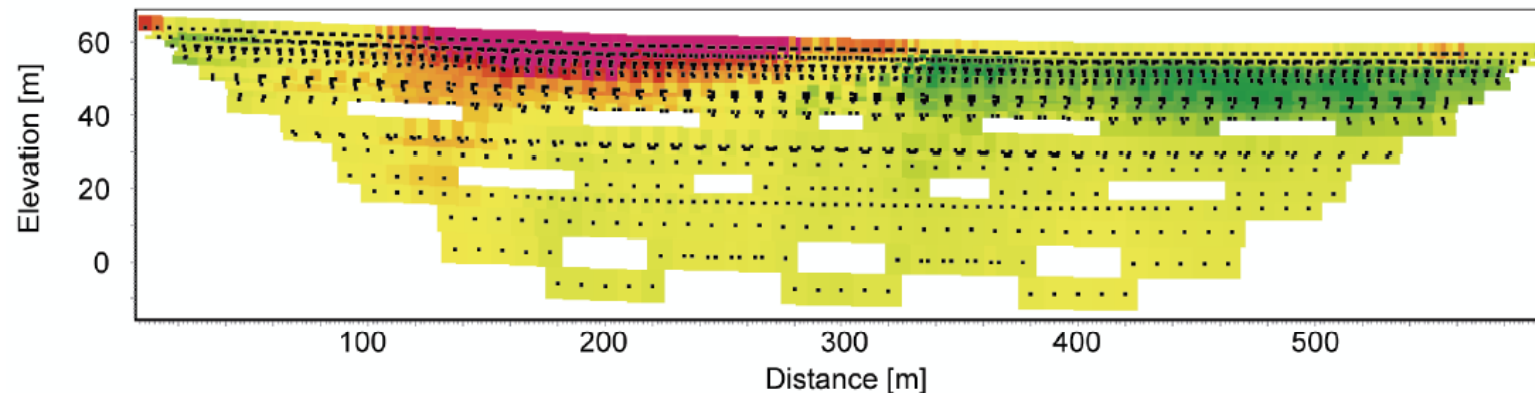


Representación en pseudocortes

a) Data profile

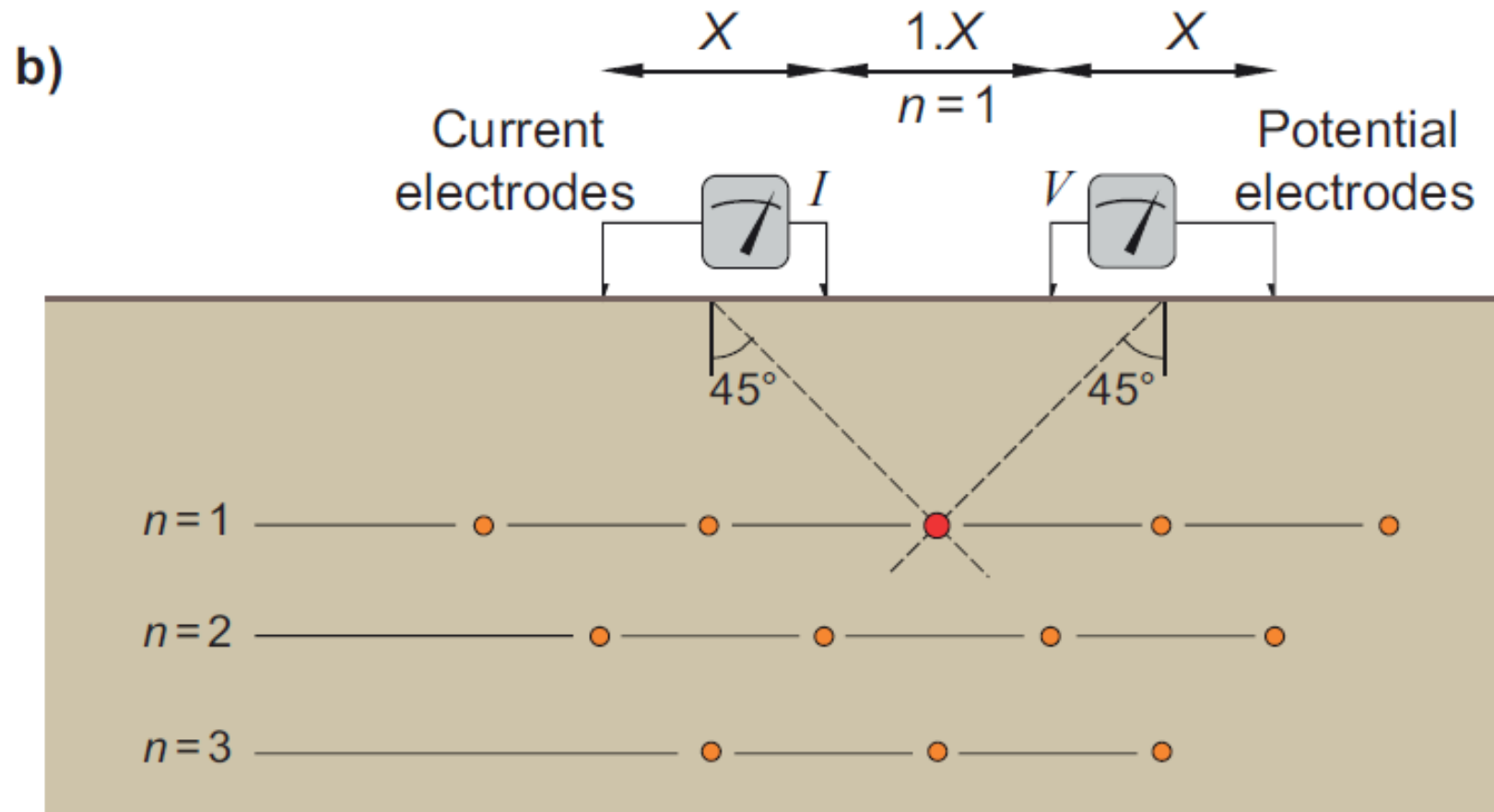


b) Data pseudo section

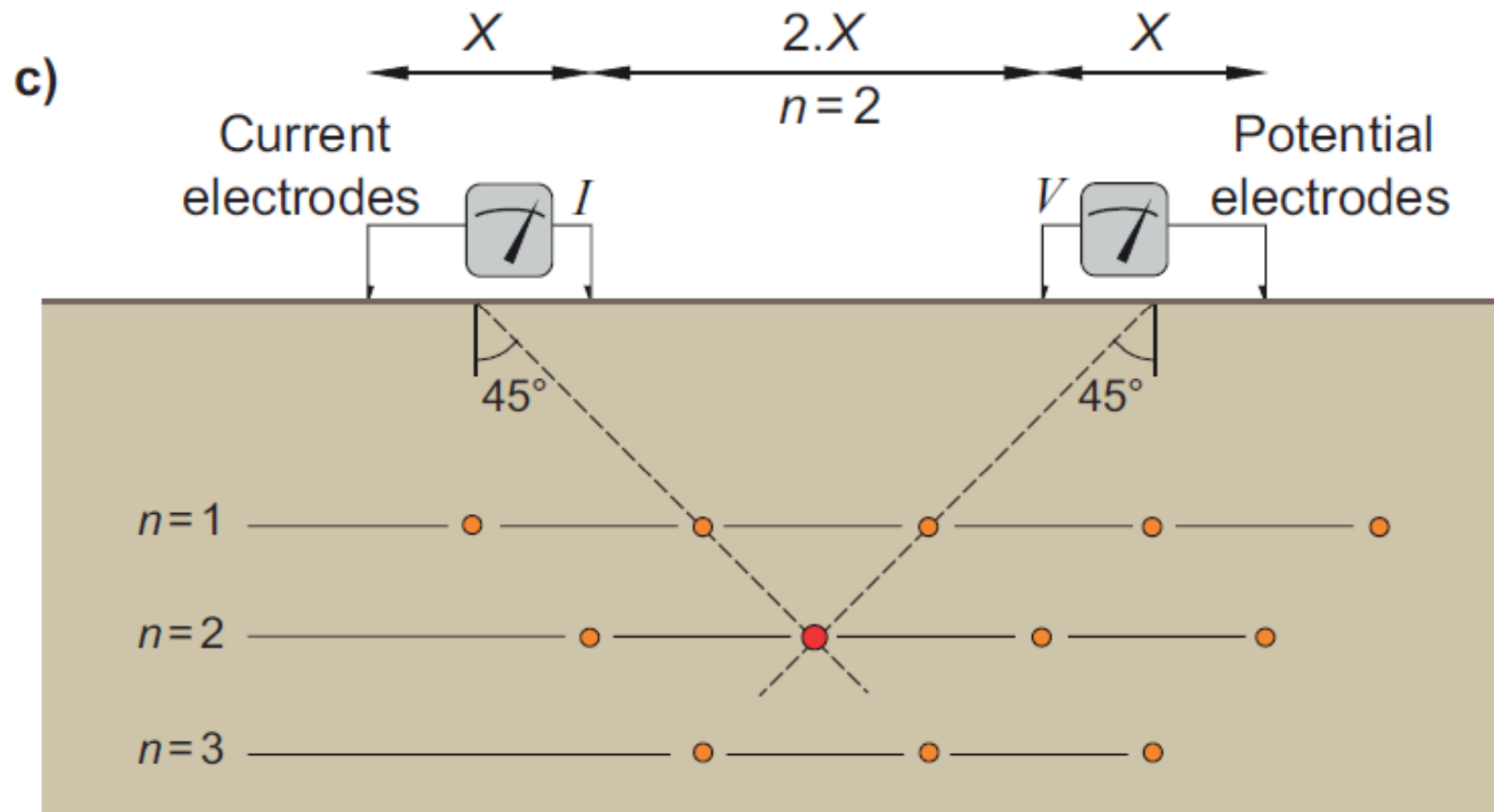


Pseudocorte: representación gráfica de los datos de resistividad aparente, en posiciones y profundidades arbitrarias. Es una abstracción matemática, que no pretende representar la distribución real de resistividades del subsuelo.

Confección del pseudocorte: se atribuye cada lectura a un único punto en el subsuelo, de localización establecida por convención:



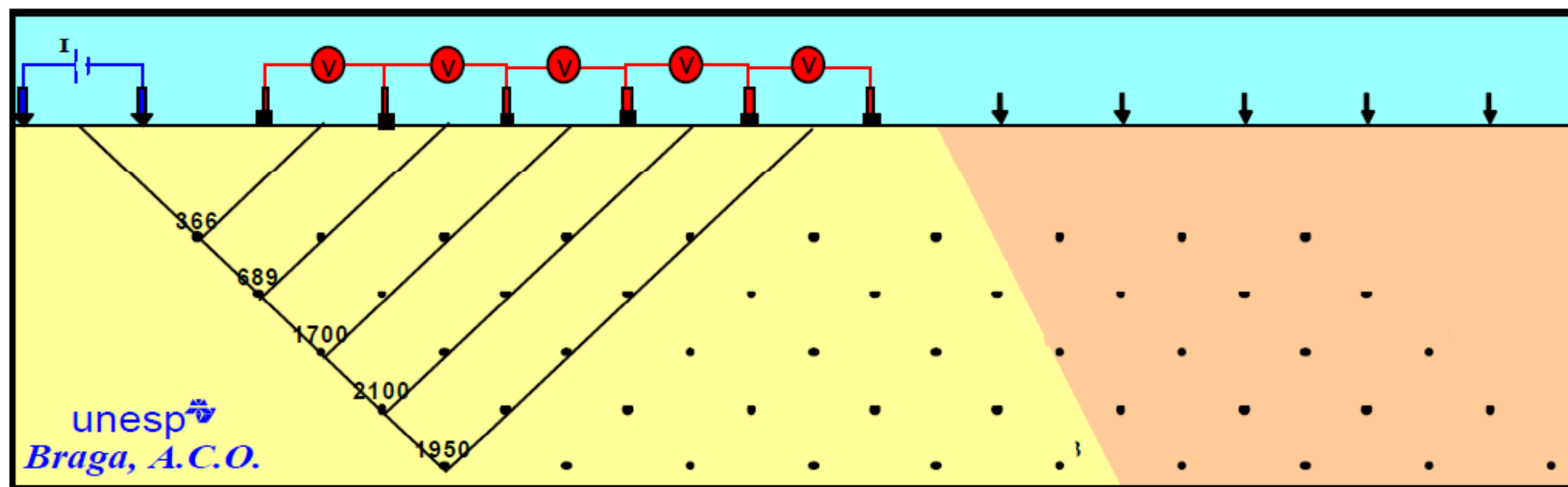
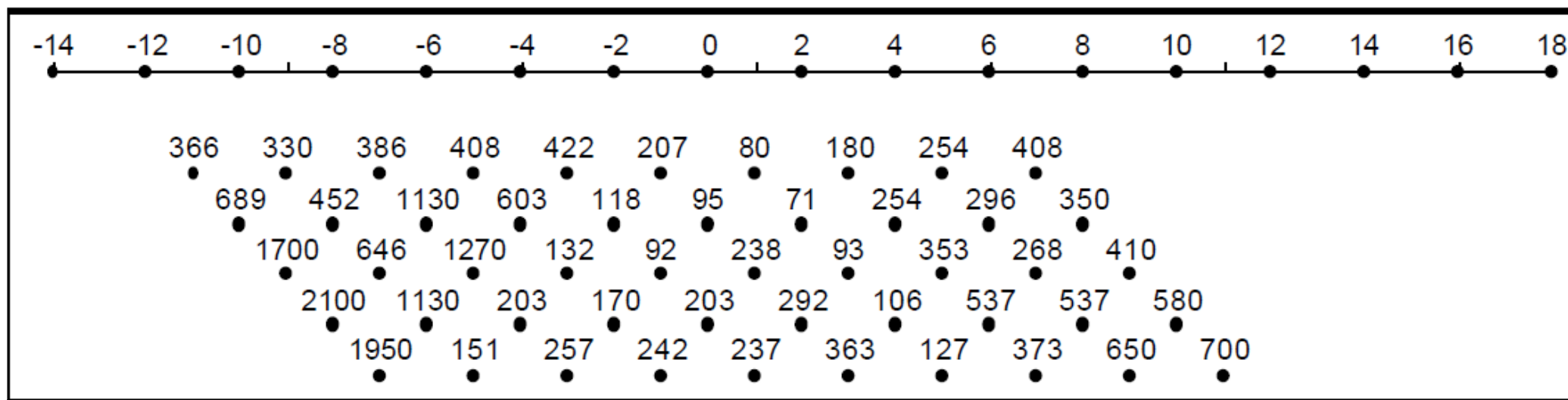
n: nivel de investigación, relacionado con la apertura de los electrodos

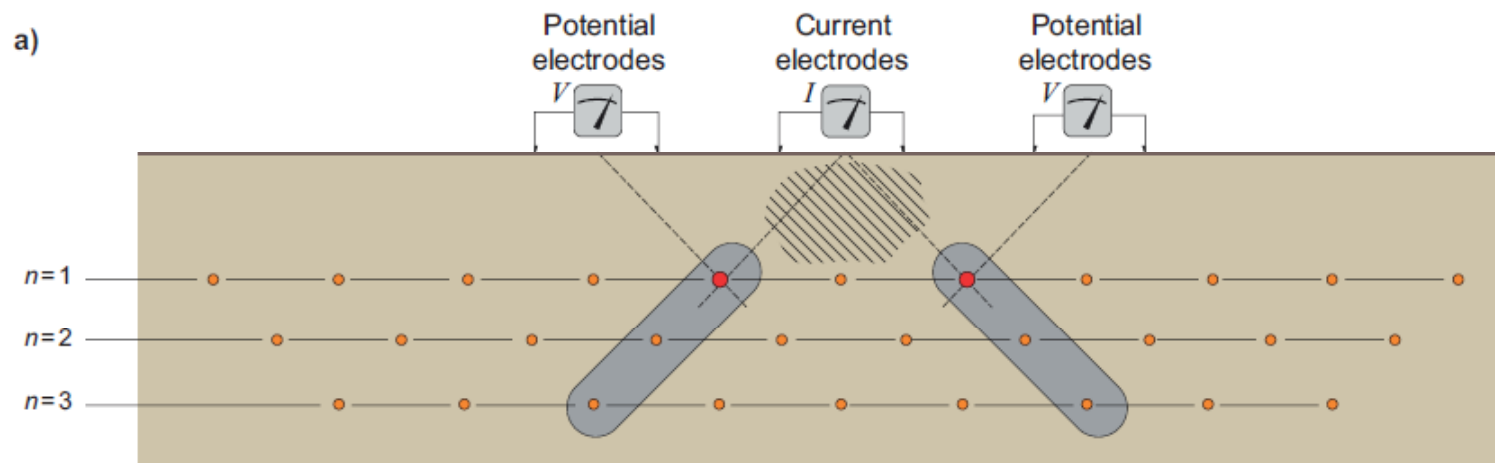


Wenner: $z = L/3 = a$

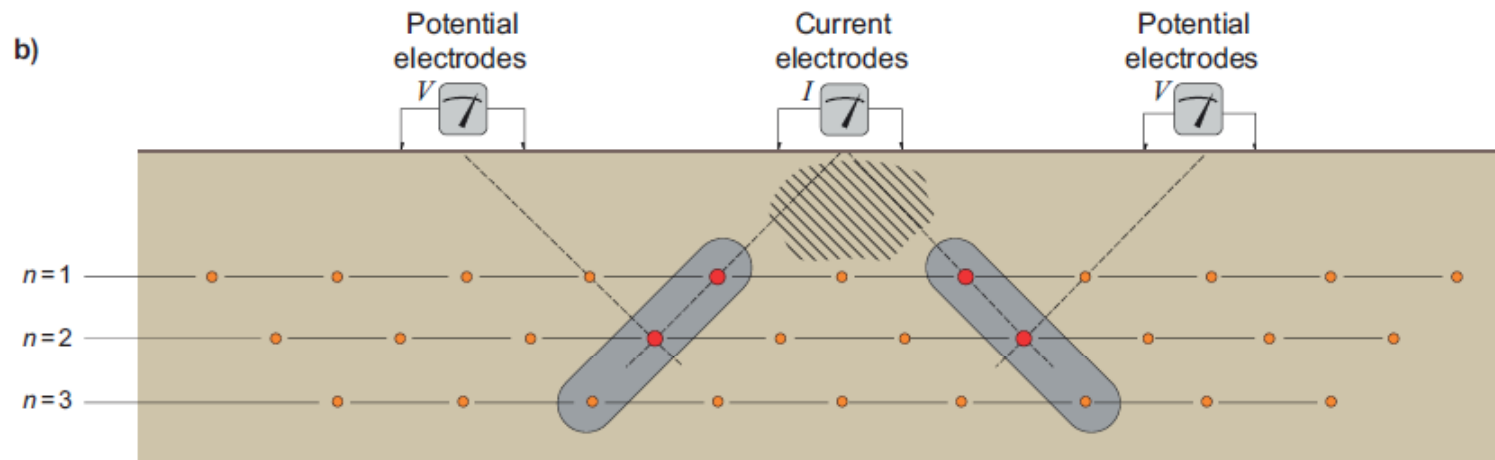
Schlumberger: $z = L/2$

Dipolo-Dipolo: $z = (a(n+1))/2$

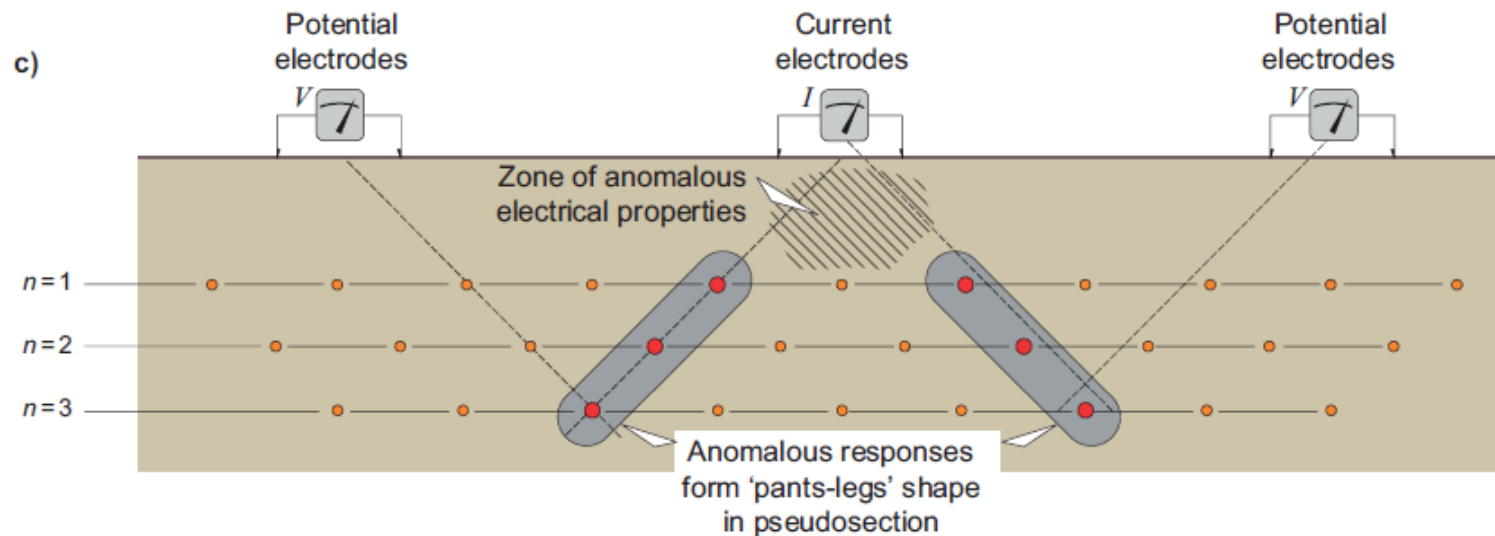




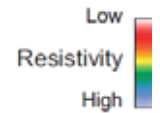
“Piernas de pantalón” (*pants-legs*) en pseudocortes



La respuesta de un cuerpo se extiende diagonalmente hacia abajo



Pseudocortes con tendido dipolo-dipolo

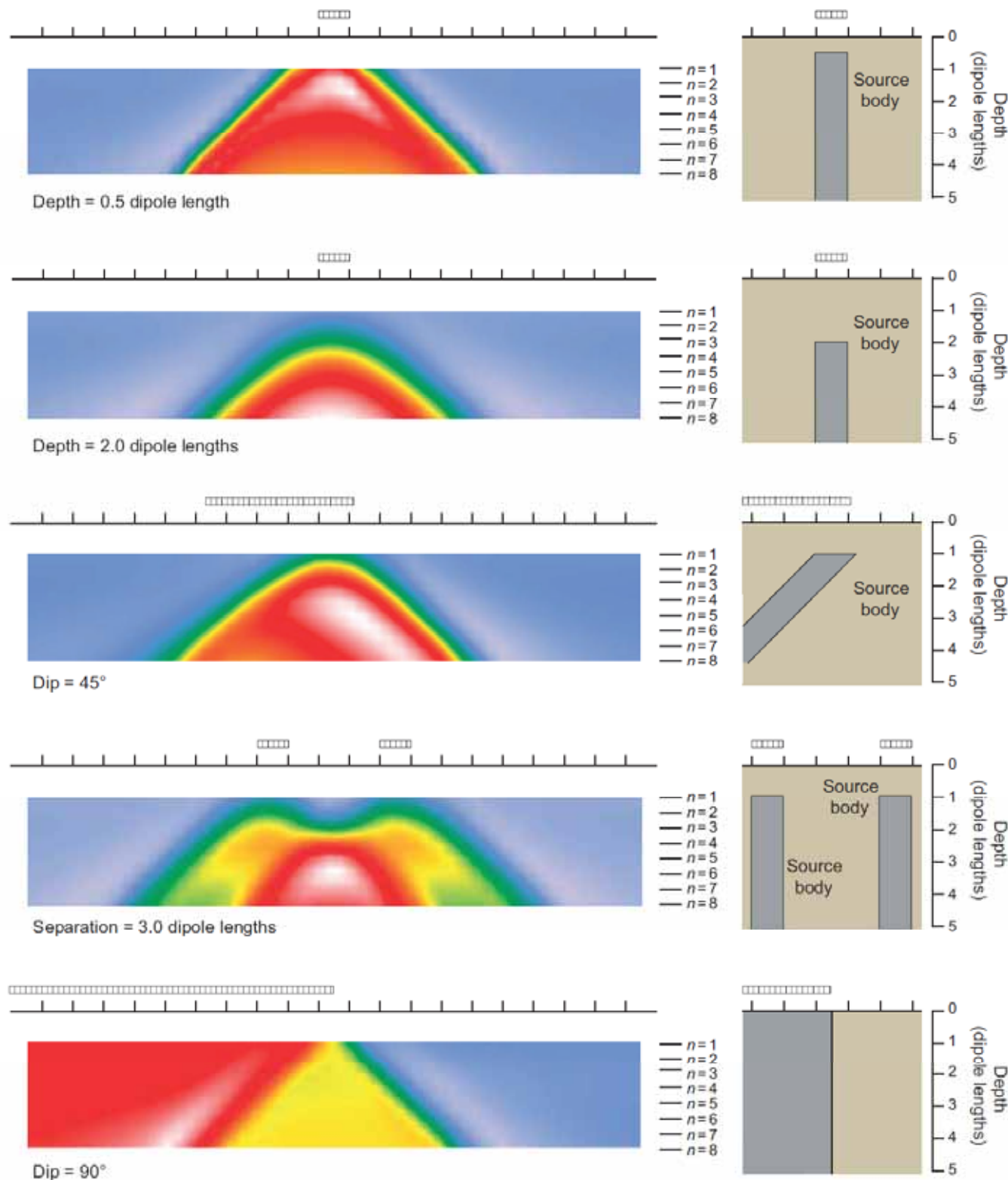


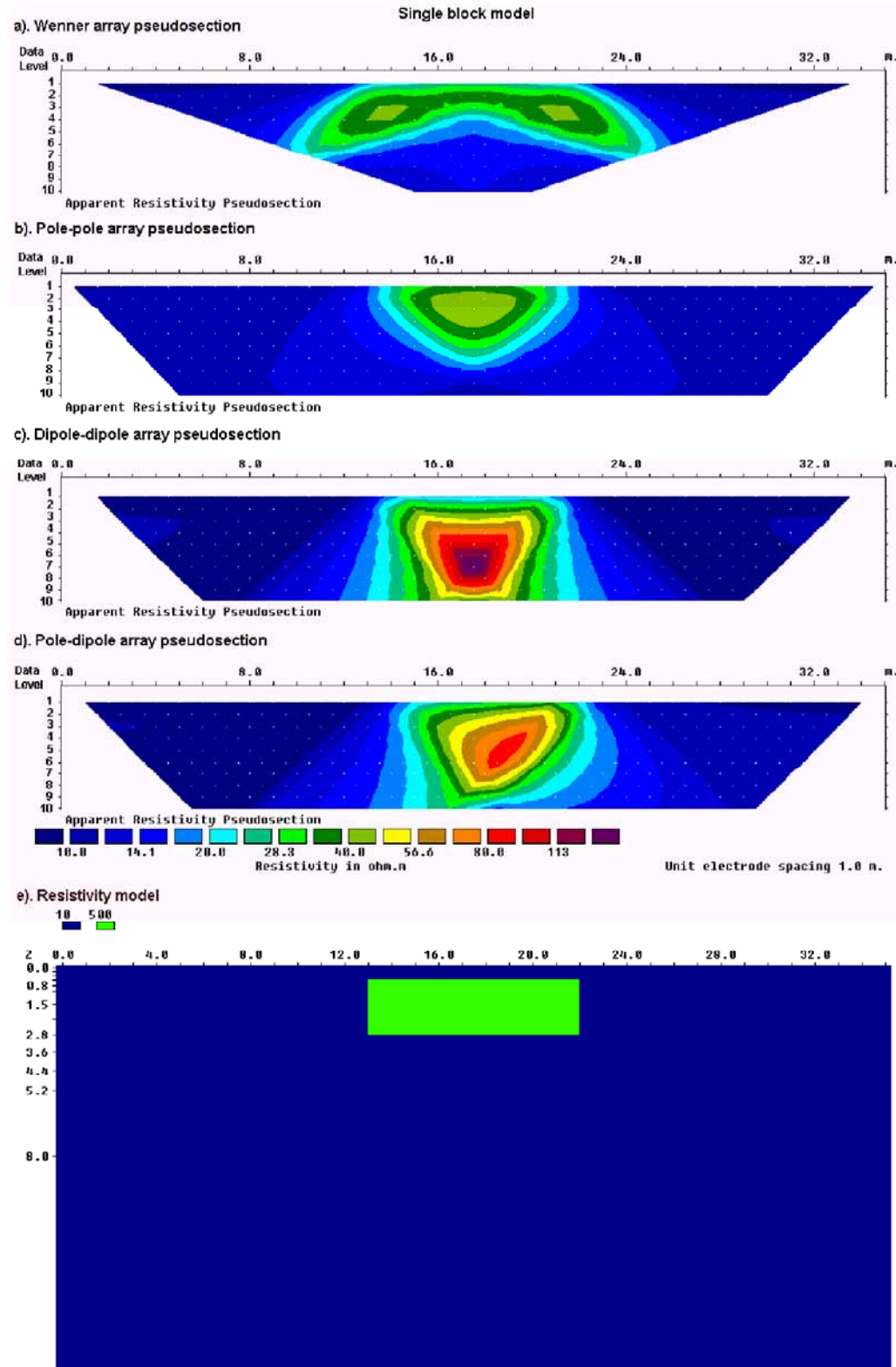
Profundidad

Inclinación

Resolución

Contacto: “piernas”
de distinto signo





La impronta de un cuerpo de resistividad anómala en el pseudocorte, depende del tendido utilizado

Tomografía de resistividad eléctrica

En lugar de usar un único cuadripolo que se modifica, se despliega un tendido de muchos electrodos regularmente espaciados. Su interconexión mediante un **cable multinúcleo** permite combinarlos en grupos de cuatro, alternando las funciones como electrodos de corriente y voltaje, desde una unidad central de control.

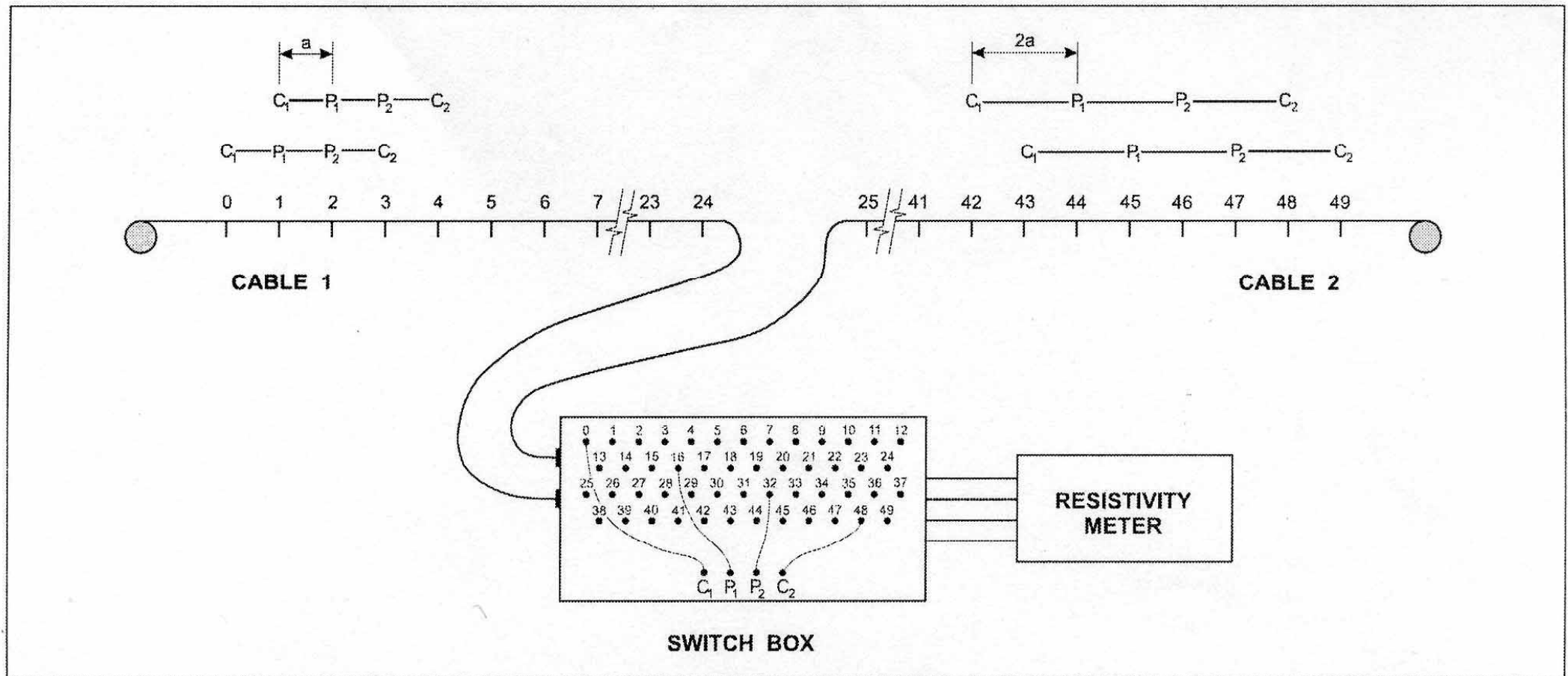
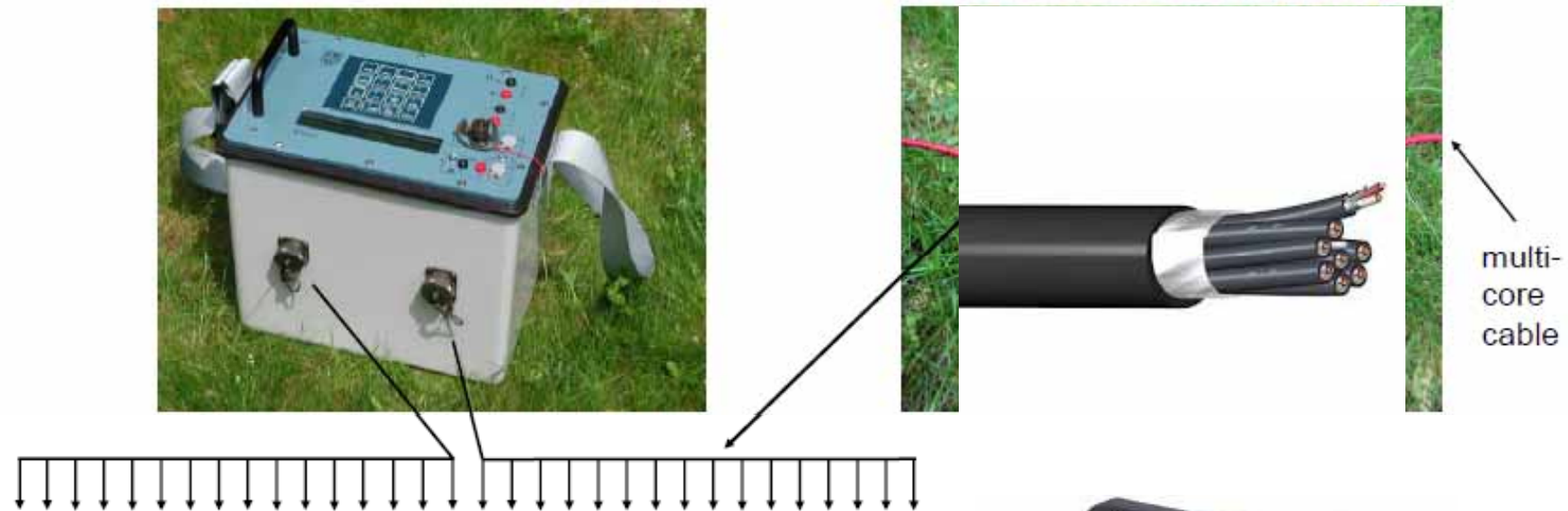


Fig. 4. Electrical resistivity image equipment - using two multi-core cables and a manually operated switch box to arrange electrode connections.

Tomografía de resistividad eléctrica con sistema multielectrodos



Conexión directa de los cables a la unidad Syscal
Cables reversibles del tipo sísmico
24, 48, 72 o 96 electrodos con espaciado fijo
Memoria interna para el almacenamiento
del archivo de secuencia y del archivo de datos



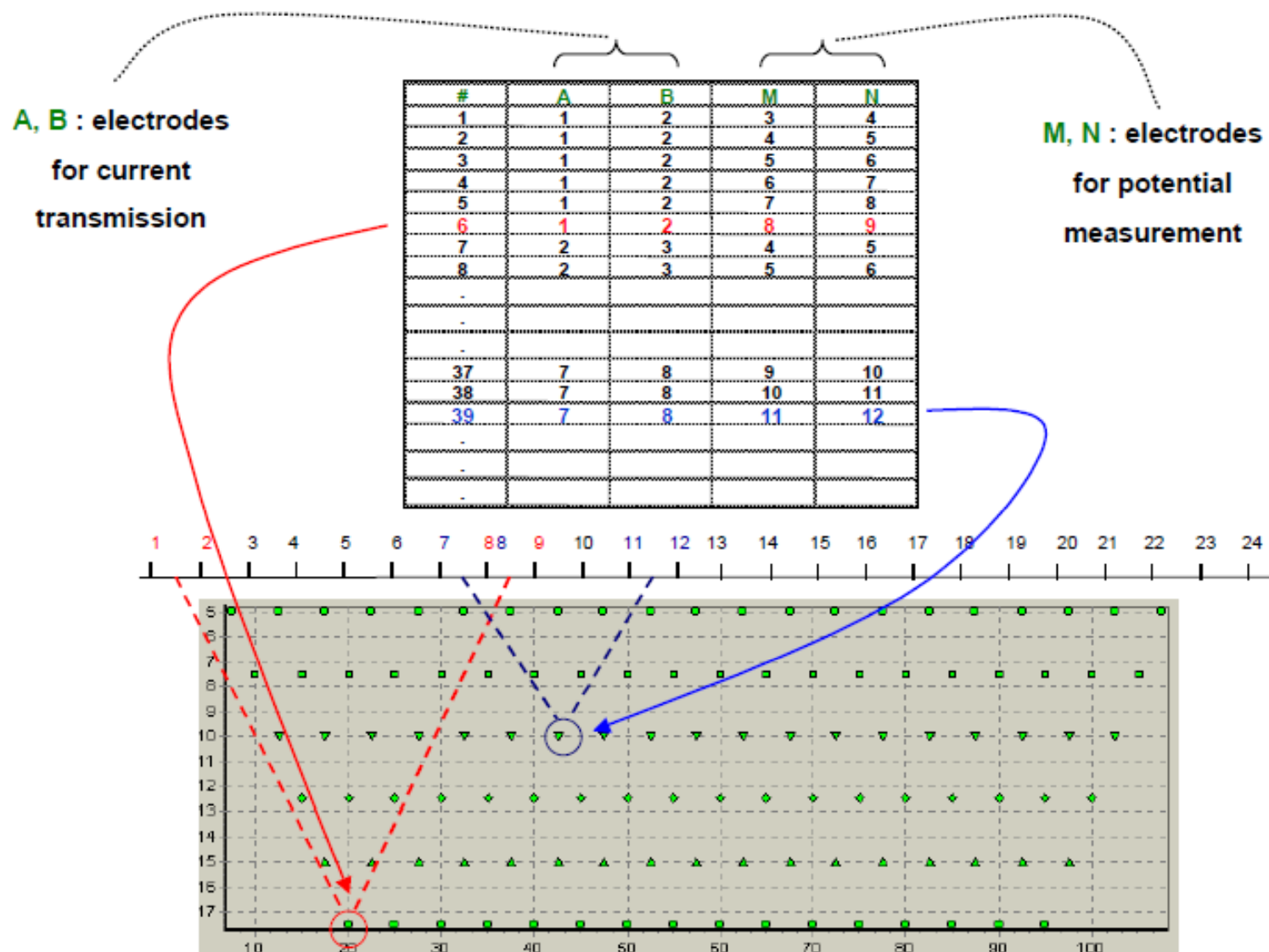


SYSCAL R1 Plus resistivity meter

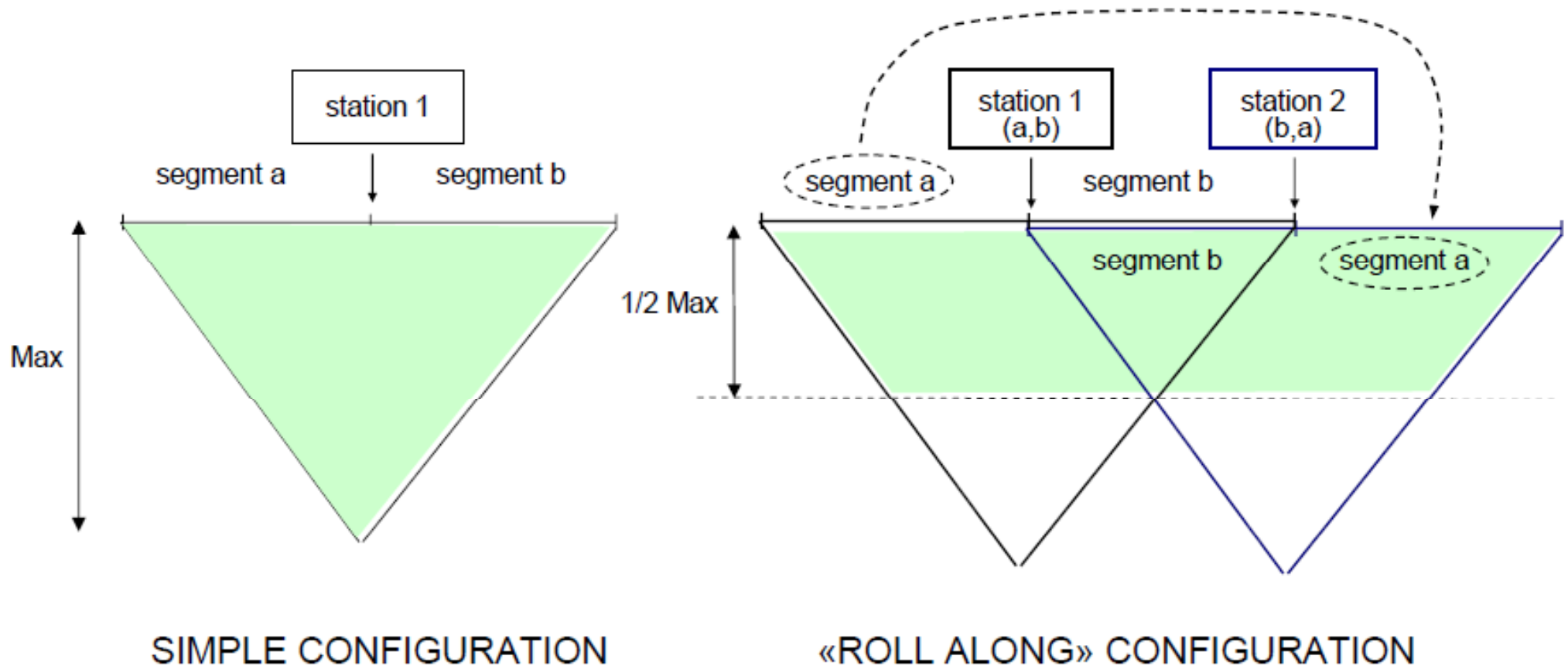
Voltaje máximo 600 V
Corriente máxima 1 A
Potencia máxima 600 W
Conexión a batería externa 12 V
Control del conexionado ($R < 20 \text{ kohm}$)



Definición de una secuencia de medición (lista de cuadripolos)



Para relevar perfiles más largos que la longitud del cable multinúcleo, se utiliza la modalidad “roll along” (rodamiento), que consiste en avanzar desplazando la mitad del tendido cada vez.



La cobertura es completa hasta una profundidad equivalente a la mitad de la profundidad máxima posible de investigación.

Tomografía de resistividad eléctrica 3D

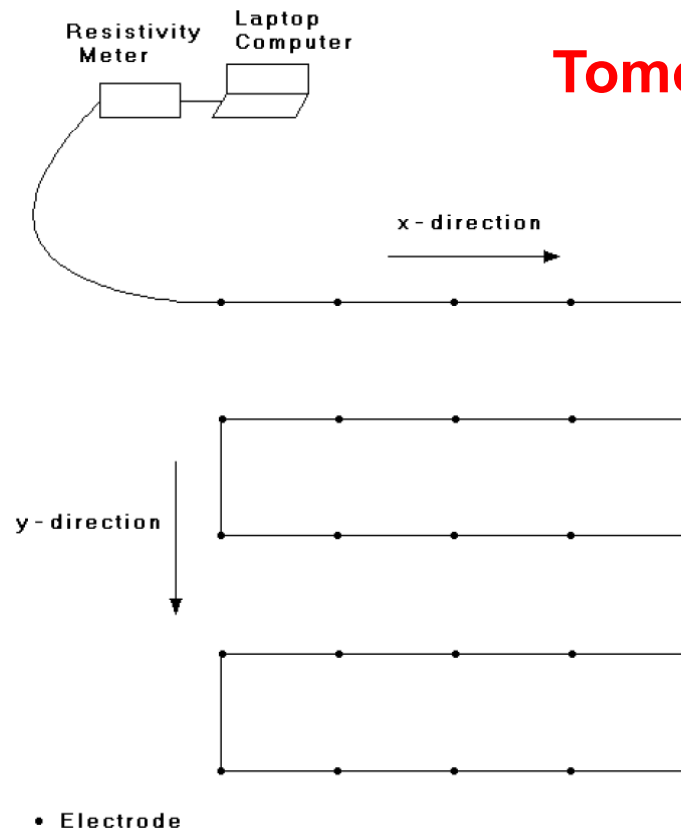


Figure 8.1. The arrangement of the electrodes for a 3-D survey.

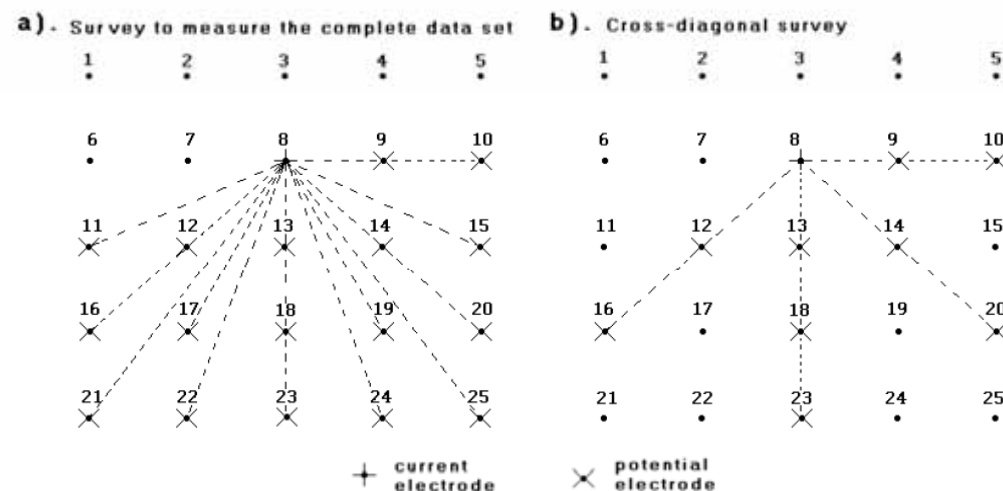


Figure 8.2. Two possible measurement sequences for a 3-D survey. The location of potential electrodes corresponding to a single current electrode in the arrangement used by (a) a survey to measure the complete data set and (b) a cross-diagonal survey.


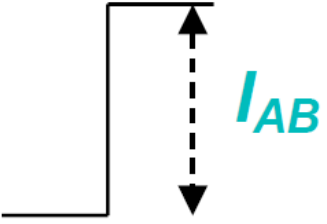
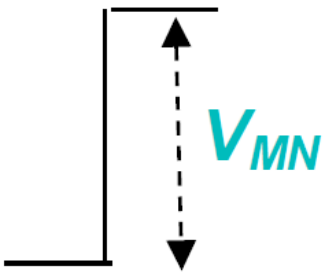

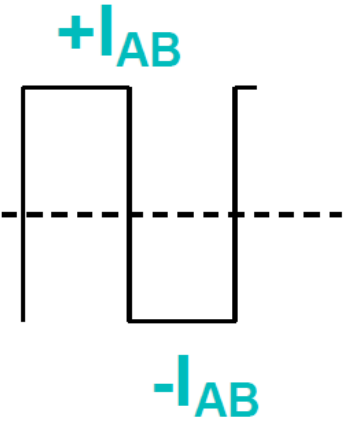
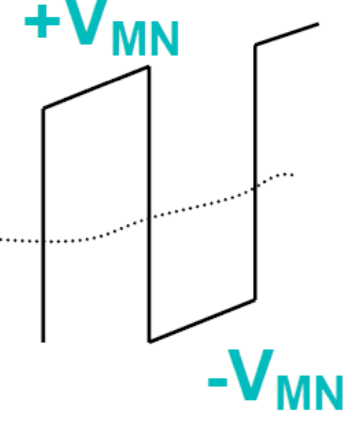
Consideraciones de campo para resistividad galvánica

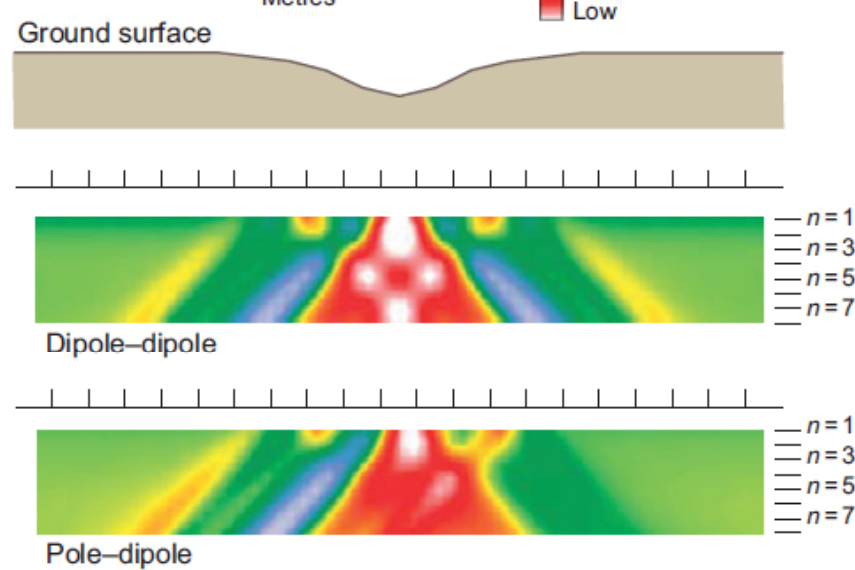
- Buen contacto de electrodos con el terreno
 - Humedecer el sitio del electrodo
 - Agregar solución salina o bentonita.
- El relevamiento tiene que ser a lo largo de una línea tan recta como sea posible
- Alejarse tanto como sea posible de rasgos culturales (cableado eléctrico, tuberías, alambrados metálicos con conexión al terreno, pozos, etc.)



Se usa corriente alterna de baja frecuencia en lugar de corriente continua:

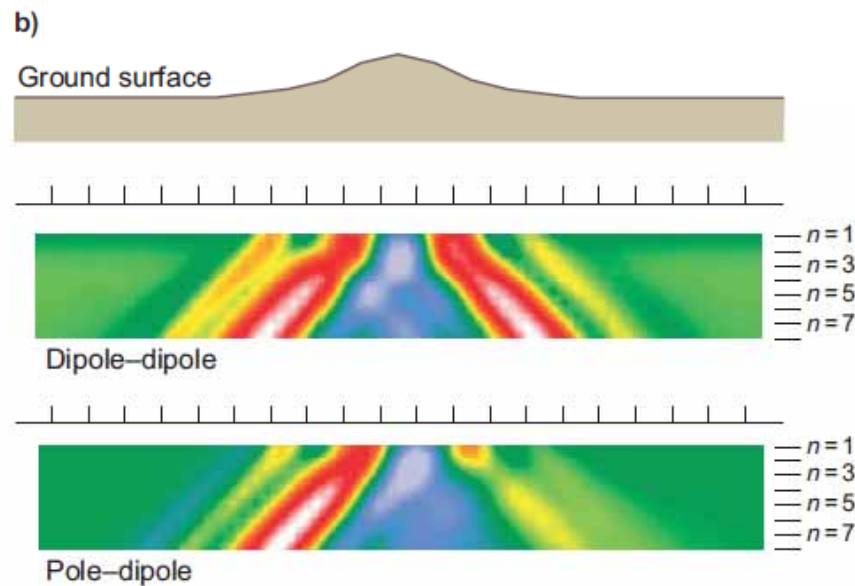
- Para evitar acumulación de cationes en el electrodo positivo y aniones en el negativo (polarización)
- Para promediar (y descontar) el efecto de las corrientes telúricas y demás fuentes de ruido
 - Frecuencias de 1 – 10 – 100 Hz

	VOLTAGE noise	<i>INTENSITY</i> I_{AB}	<i>VOLTAGE</i> V_{MN}
IDEAL CASE	no noise 		
REAL CASE	Telluric currents, Self Potential, Industrial noise 		

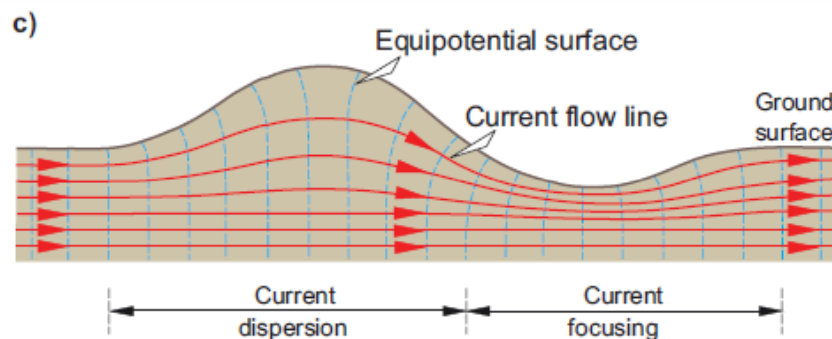


Correcciones

Por ser un método activo, en el que se tiene control sobre las características del campo aplicado, no hacen falta correcciones previas a la interpretación de los datos.



En caso de topografía irregular, ésta puede provocar respuestas anómalas que deben tenerse en cuenta.



Interpretación: el problema directo

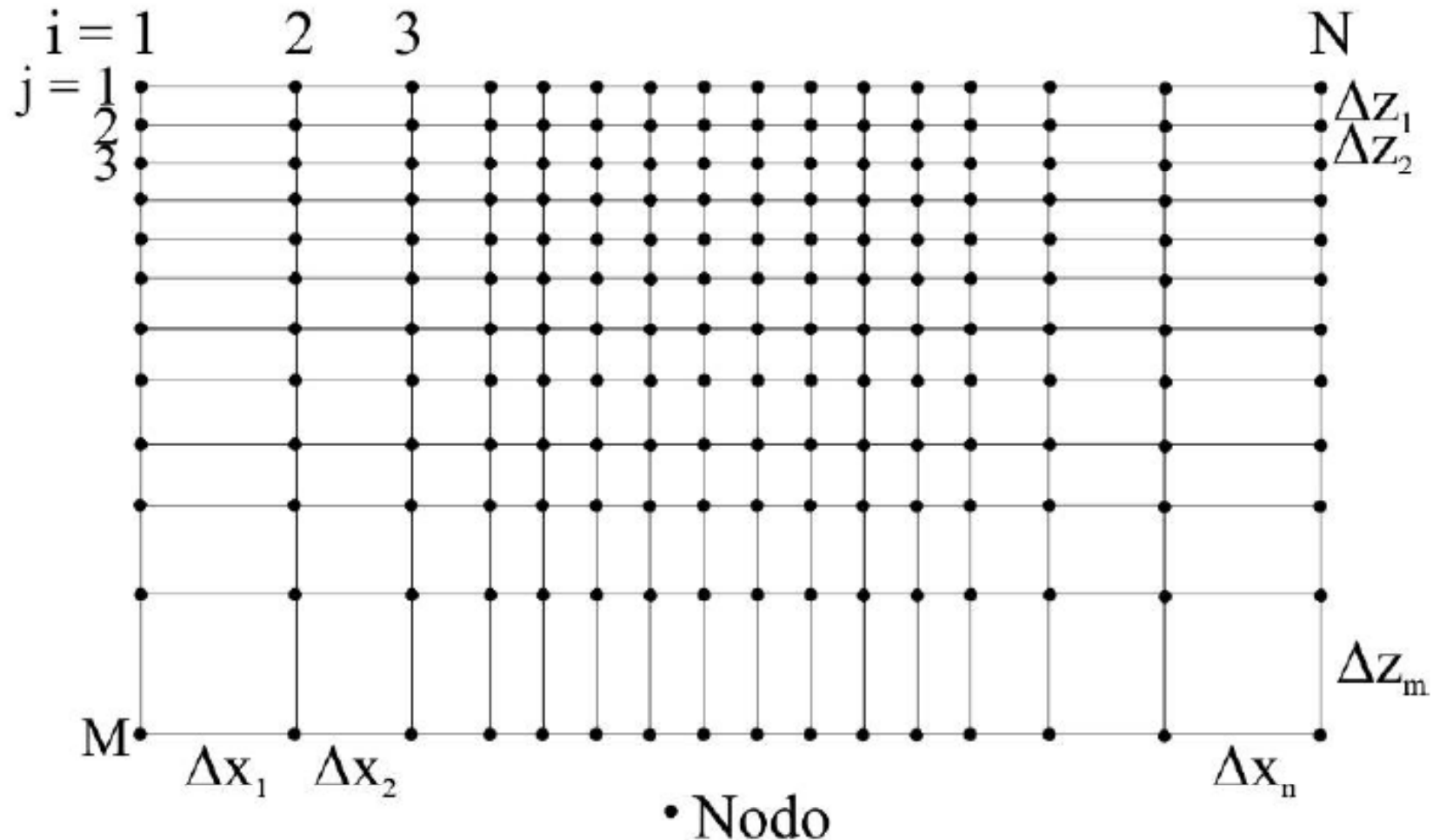
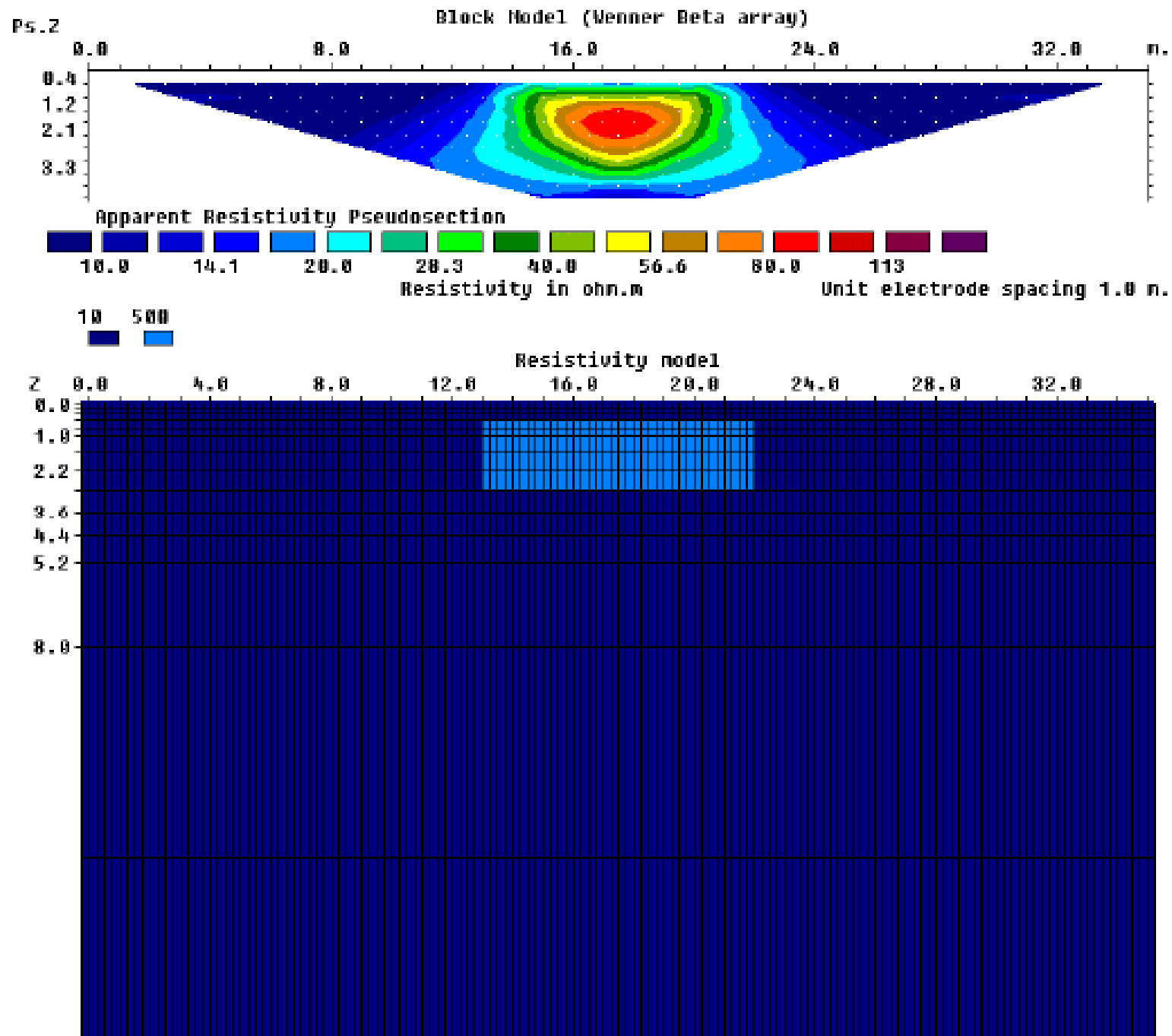


Figura 2.14. Subespacio dividido en celdas rectangulares de resistividad constante

Se discretiza el espacio, se asigna un valor de resistividad a cada nodo. Se calcula el potencial eléctrico de cada nodo. Se calcula la resistividad aparente que producirían esos potenciales.

Cada modelo produce una respuesta única.

Pseudocorte obtenido por modelado directo. El bloque del panel inferior produciría un pseudocorte como el del panel superior.

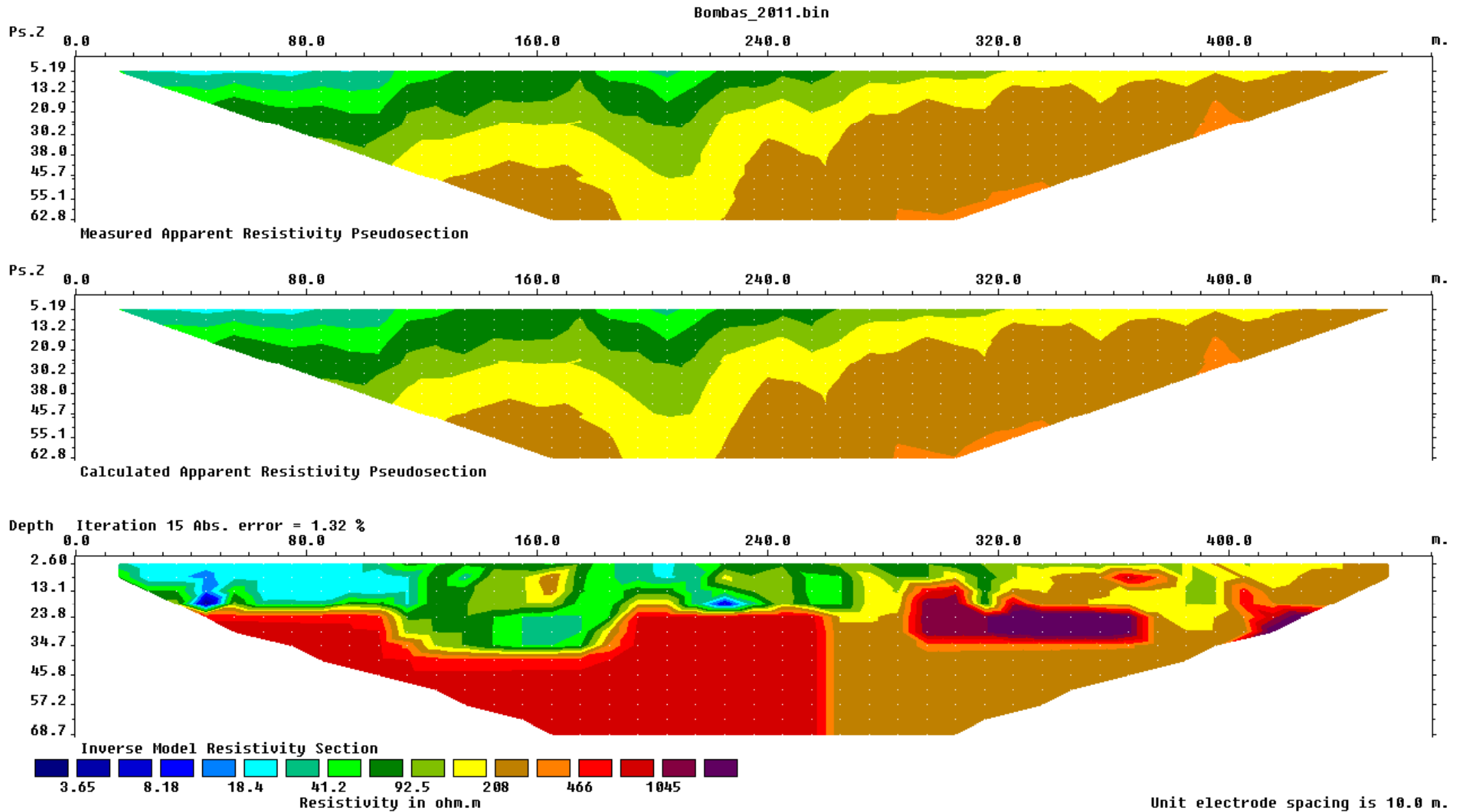


Interpretación: el problema inverso

- Definición de modelado inverso: se parte de los datos (resistividades aparentes) para calcular los parámetros del modelo (la distribución real de resistividades).
- Se usan las mismas ecuaciones. Problema autoconsistente a resolver en forma iterativa.
- 1) se parte de un modelo de resistividad inicial
- 2) se calculan los valores de resistividad aparente predichos por ese modelo
- 3) se comparan estos valores con los medidos, y se calcula el grado de ajuste, representado por una función matemática (“función objetiva” con los residuales).
- 4) se ajustan los parámetros del modelo para reducir la función objetiva, y se repite el proceso
- El paso 2) es la resolución del problema directo

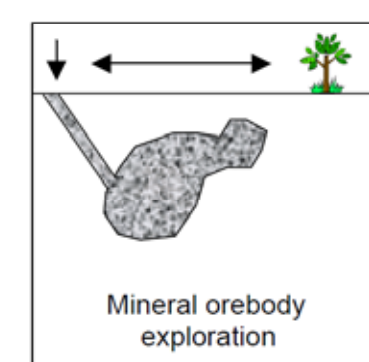
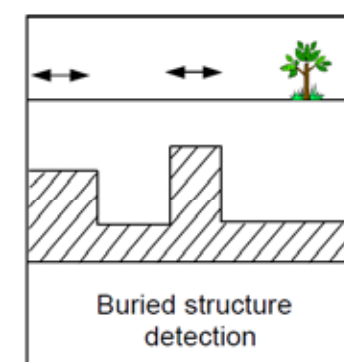
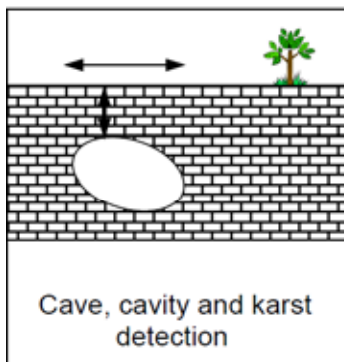
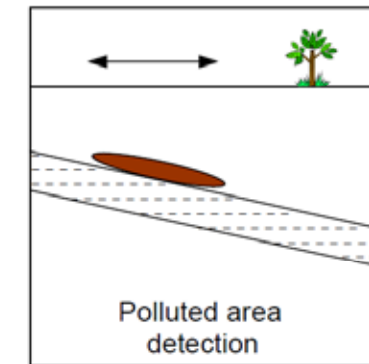
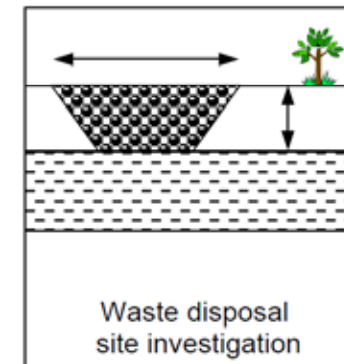
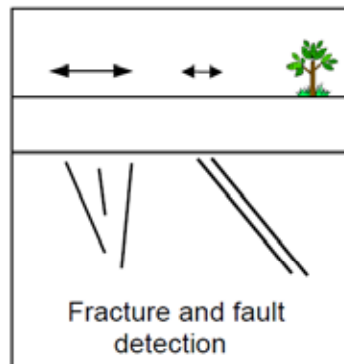
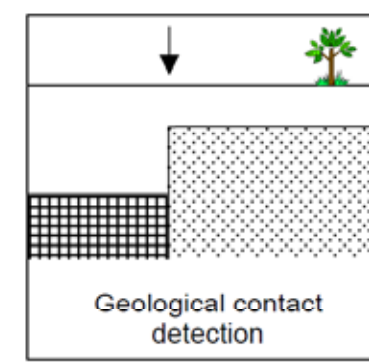
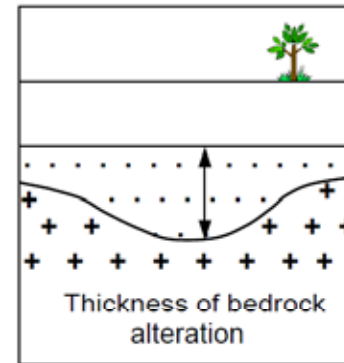
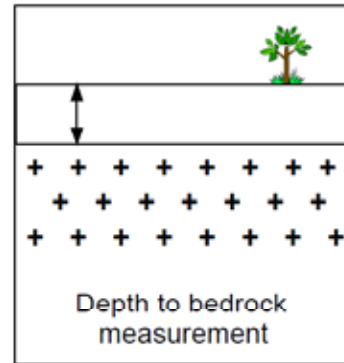
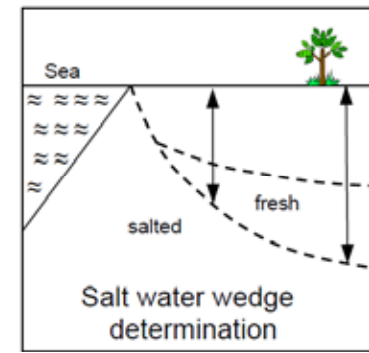
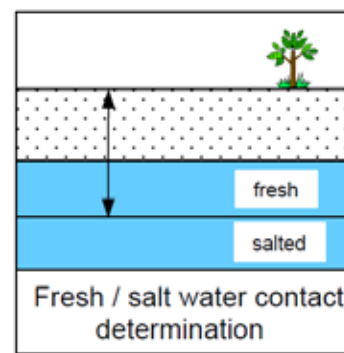
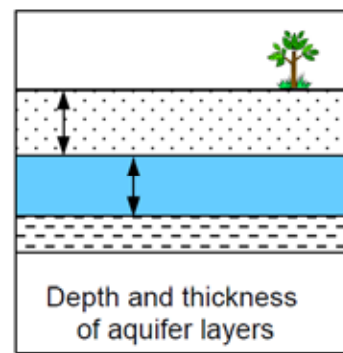
Múltiples configuraciones pueden explicar un único set de datos. Ambigüedad.

Modelo de inversión



Recordar: ¡Es sólo uno de muchos modelos posibles!

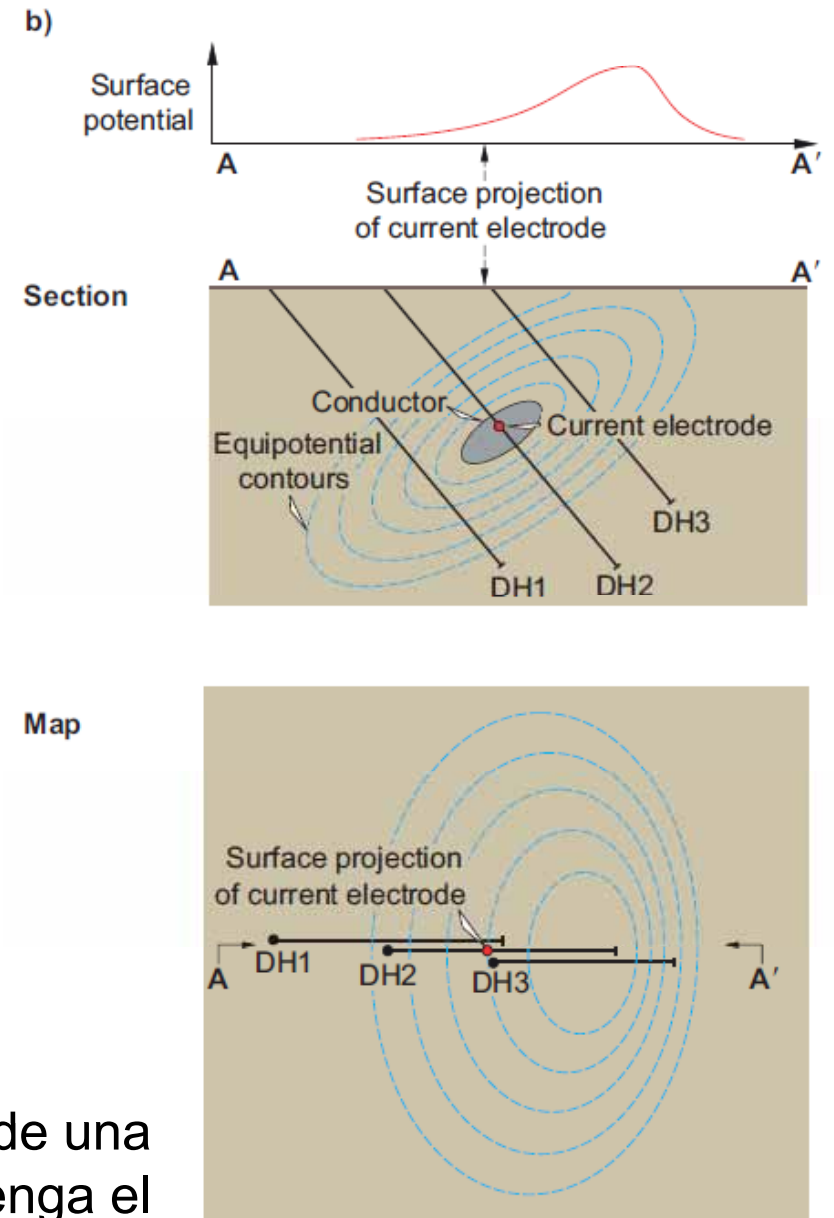
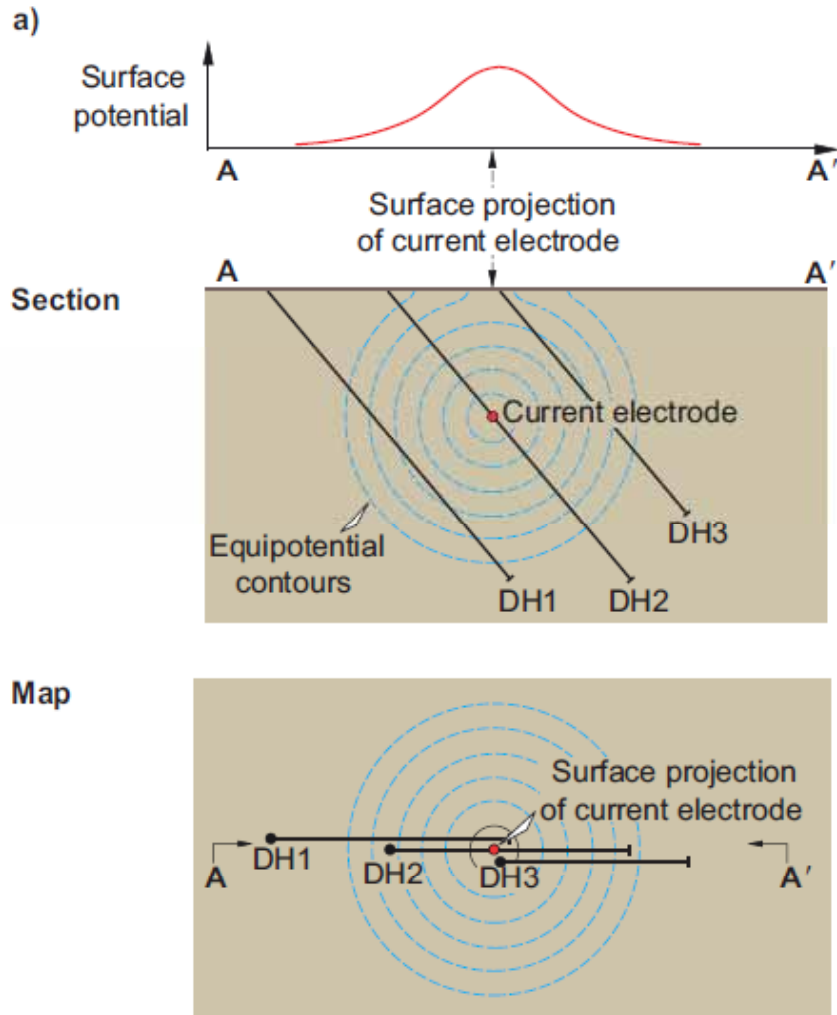
Aplicaciones



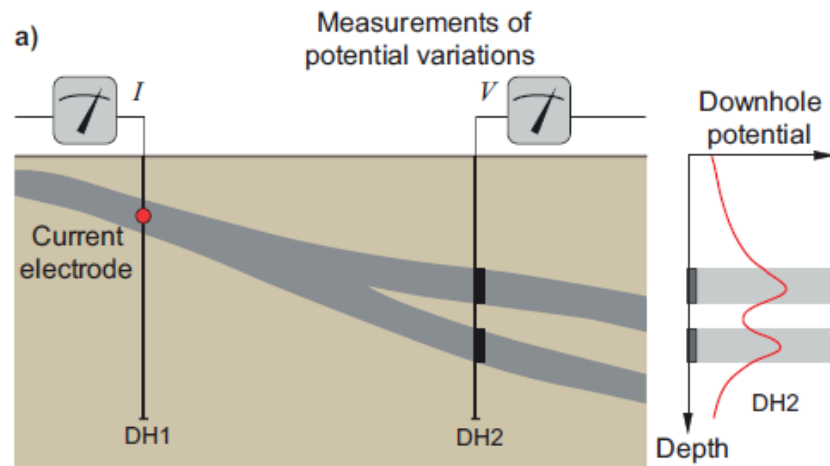
TÉCNICA	Profundidade Teórica de Investigação (m)	Espaçamento dos eletrodos (m)		Produção por Dia	Equipe Necessária	Custo (R\$)
Caminhamento Elétrico <i>Arranjo Gradiente</i>	até 150	(AB/MN=30)	MN = 20 AB = 600	1.800 m	<ul style="list-style-type: none"> ● 1 geofísico ● 2 técnicos ● 4 ajudantes 	1.800,00/dia ou 1,00/m
	até 300		MN = 40 AB = 1.200	3.000 m		3.000,00/dia ou 1,00/m
	até 30		x = 10	400 a 700 m	<ul style="list-style-type: none"> ● 1 geofísico ● 1 técnico ● 3 ajudantes 	1.500,00 a 2.000/dia ou 1,50 a 2,00/m
Caminhamento Elétrico <i>Arranjo Dipolo-Dipolo (5 níveis)</i>	até 60	(AB = MN)	x = 20	800 a 1.000 m		
	até 120		x = 40	1.000 a 1.500 m	<ul style="list-style-type: none"> ● 1 geofísico ● 1 técnico ● 6 ajudantes 	

Mise-à-la-masse (potencial aplicado)

Variante de método resistivo en la cual uno de los electrodos de corriente se sitúa en el cuerpo conductor

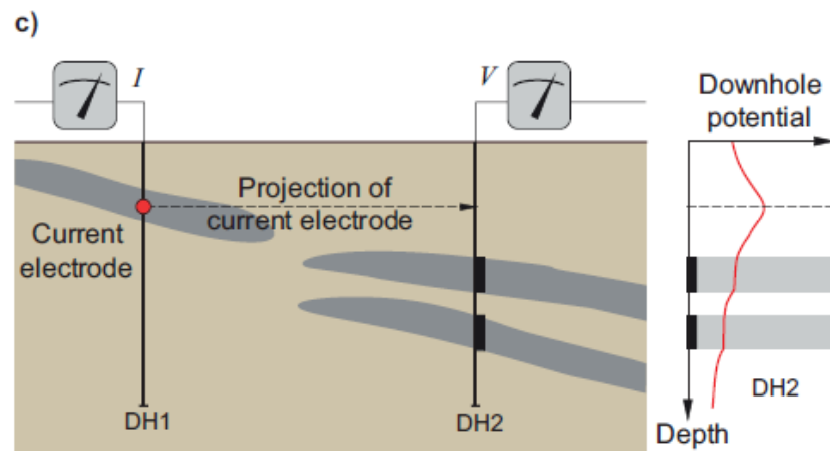
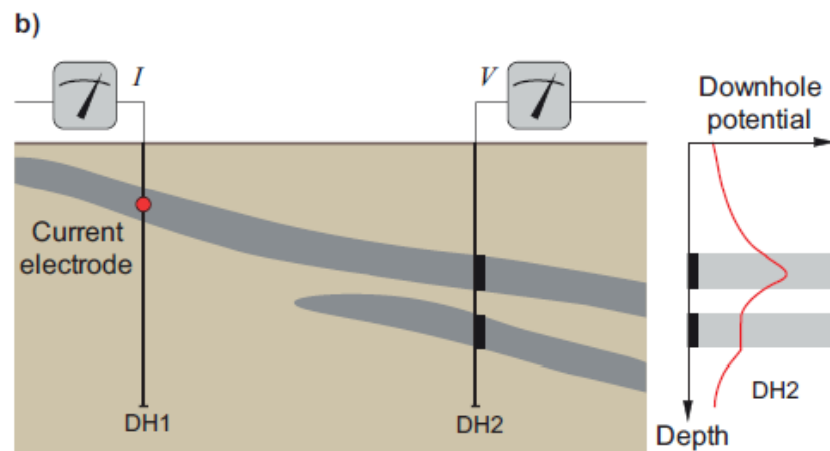


Las líneas equipotenciales van a diferir de las de una fuente puntual, según la forma y volumen que tenga el cuerpo conductor



Mise à la masse

Sirve para establecer si existe o no continuidad (al menos en las propiedades eléctricas) entre cuerpos en el subsuelo.

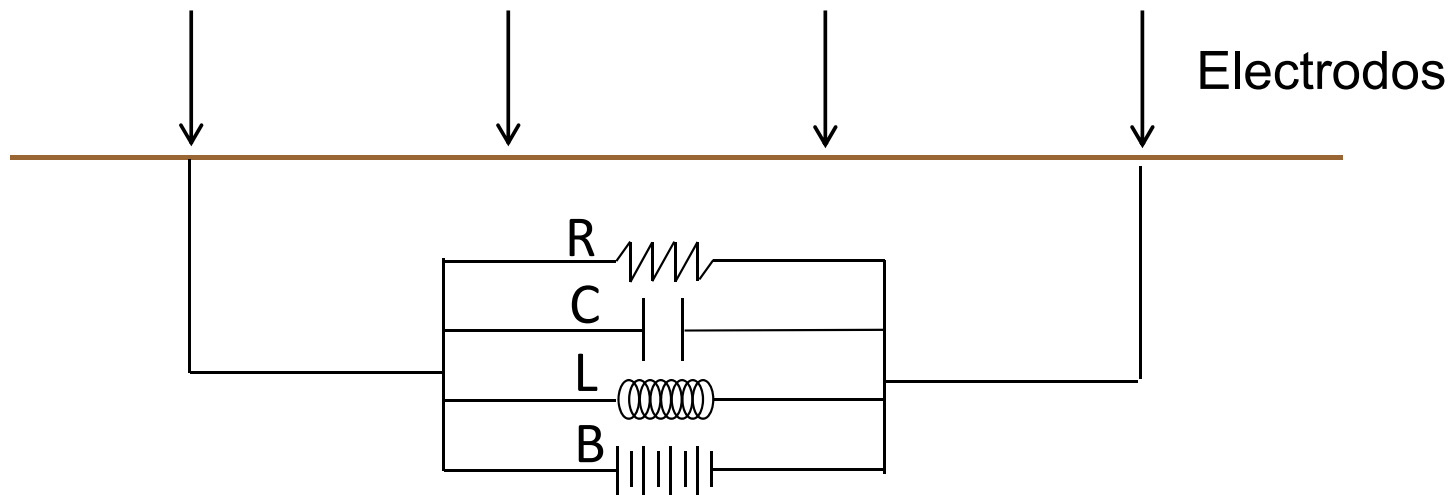


Conductive zones Conductive intersection

	Resistividad (galvánica)
<i>Parámetro físico medido</i>	Posición de electrodos, intensidad de corriente, voltaje (se calcula resistividad aparente)
<i>Unidades</i>	m, A, mV (resistividad aparente en Ωm -ohm metro-)
<i>Propiedad física relevante</i>	Resistividad
<i>Fuente de anomalías</i>	Contraste lateral o vertical de resistividades
<i>Profundidad de investigación</i>	200-400 m con sistemas convencionales, 500-800 m con equipos de última generación
<i>Detección directa</i>	Sulfuros masivos
<i>Detección indirecta</i>	Zonas silicificadas en depósitos de Au, mapeo de estructuras o zonas de alteración
<i>Contraindicaciones</i>	En terrenos superficiales muy resistivos, se dificulta la inyección de corriente
<i>Costos aproximados</i>	120-150 u\$s/km, 10 u\$s/estación

La Tierra como un circuito

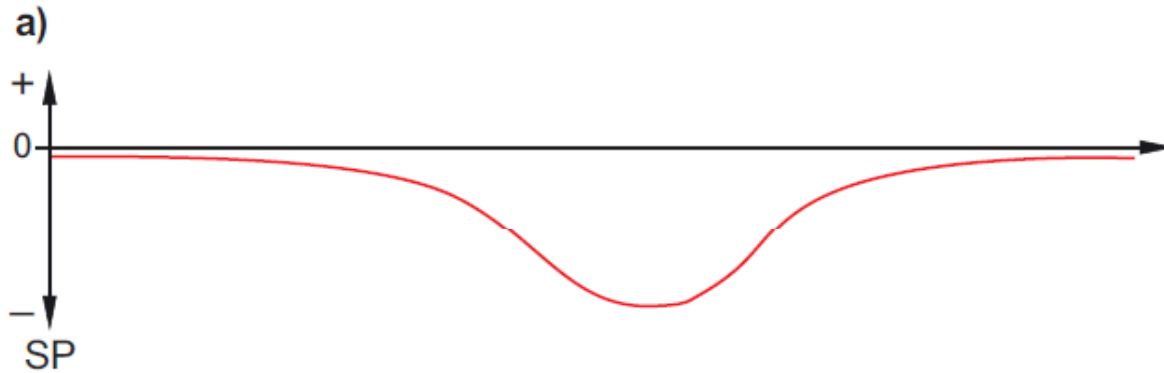
Suelo y rocas se pueden modelar conceptualmente como un circuito formado por: resistencia, capacitor, inductor y batería:



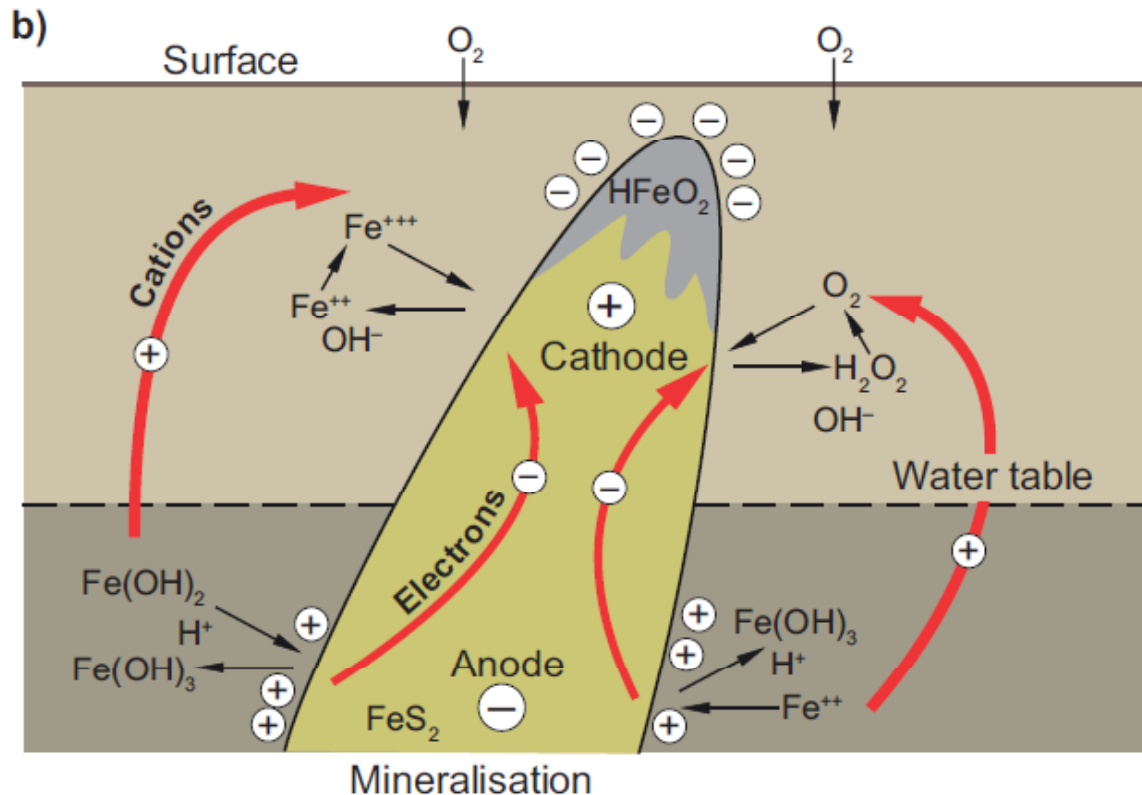
- | | |
|-------------------|------------------------------------------------------------|
| Resistencia R: | disipador de la energía aplicada como calor |
| Capacitor C: | almacenamiento de energía en forma de separación de cargas |
| Inductor L: | potencial propio asociado con métodos electromagnéticos |
| Batería B: | electrocinética y auto-potencial |

Potencial espontáneo o Autopotencial (*self potential, SP*)

Es un método pasivo en el que se miden diferencias de potencial producidas naturalmente, de diversos orígenes.



Modelo de Sato y Mooney (1960)

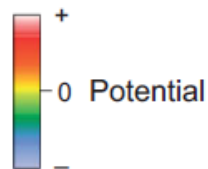
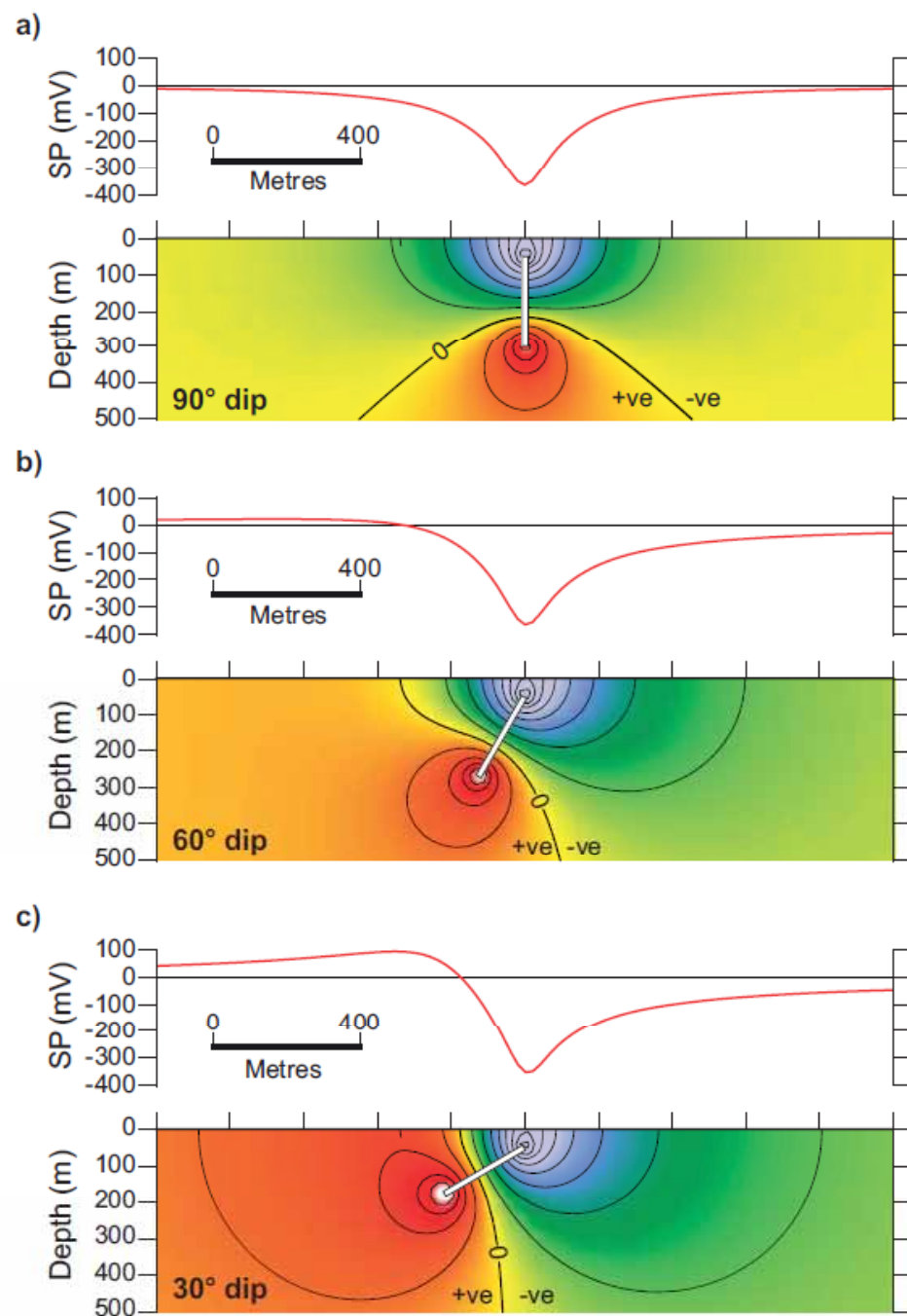


Potencial electroquímico

Reacciones electroquímicas distintas y complementarias en las partes del cuerpo conductor situadas en zonas con distinto potencial de oxidación

Iones oxidados se reducen, captando electrones

Iones reducidos se oxidan, entregando electrones

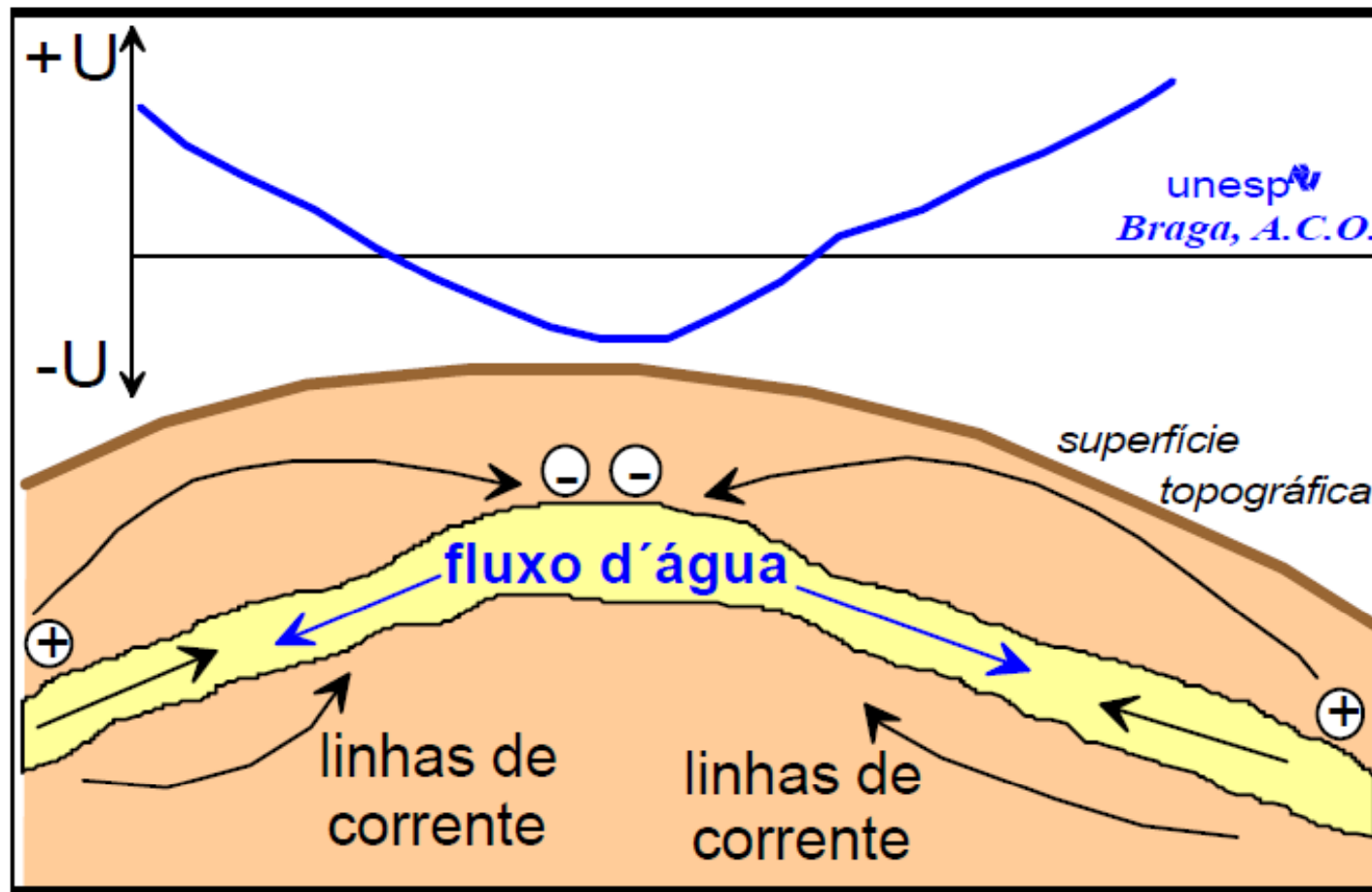


g)

El modelo de Sato y Mooney (1960) no explica todas las características del potencial espontáneo relacionado con cuerpos conductores alojados en niveles someros, pero hasta el momento no existe una explicación mejor.

Esta clase de potencial espontáneo, cuando medido en la superficie, es invariablemente negativo.

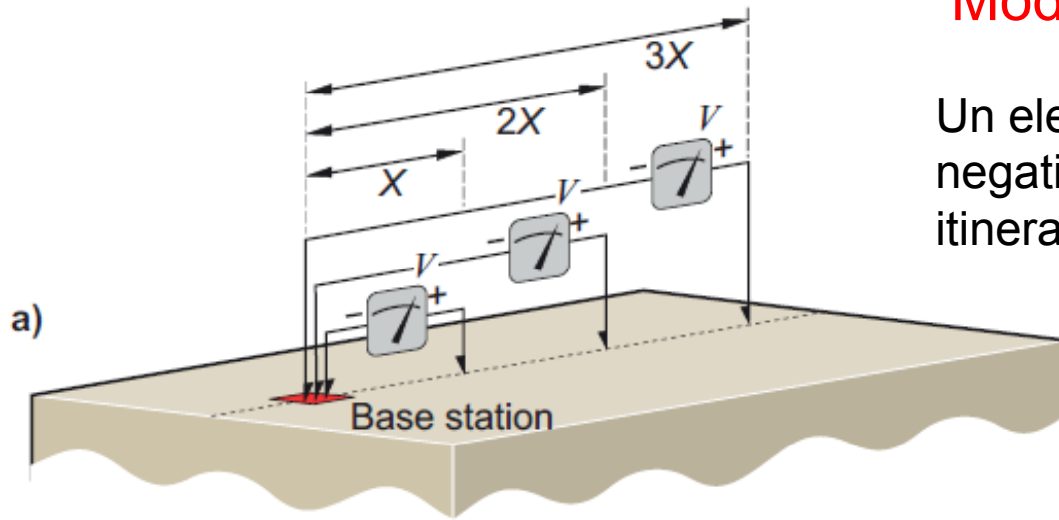
Potencial electrocinético: relacionado con el flujo de agua



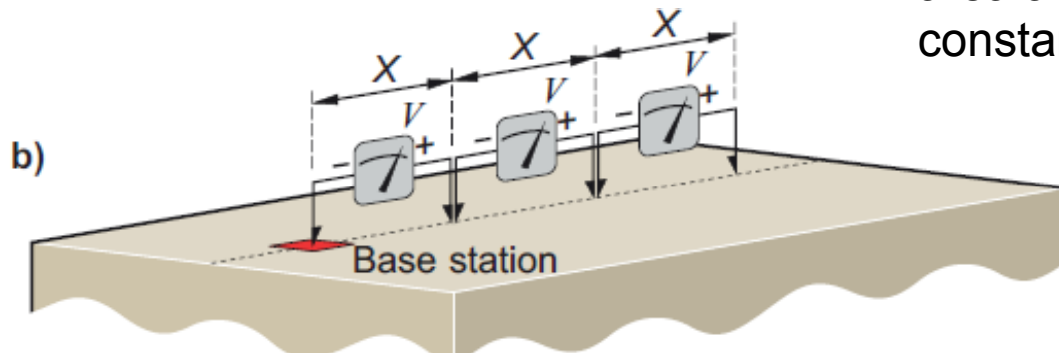
Un electrolito forzado a moverse por un gradiente de presión a través de conductos con paredes cargadas, genera un “potencial de flujo”. Ejemplo: aguas subterráneas moviéndose por medios porosos. Suele haber una correlación con la topografía.

Modalidades de trabajo en el campo

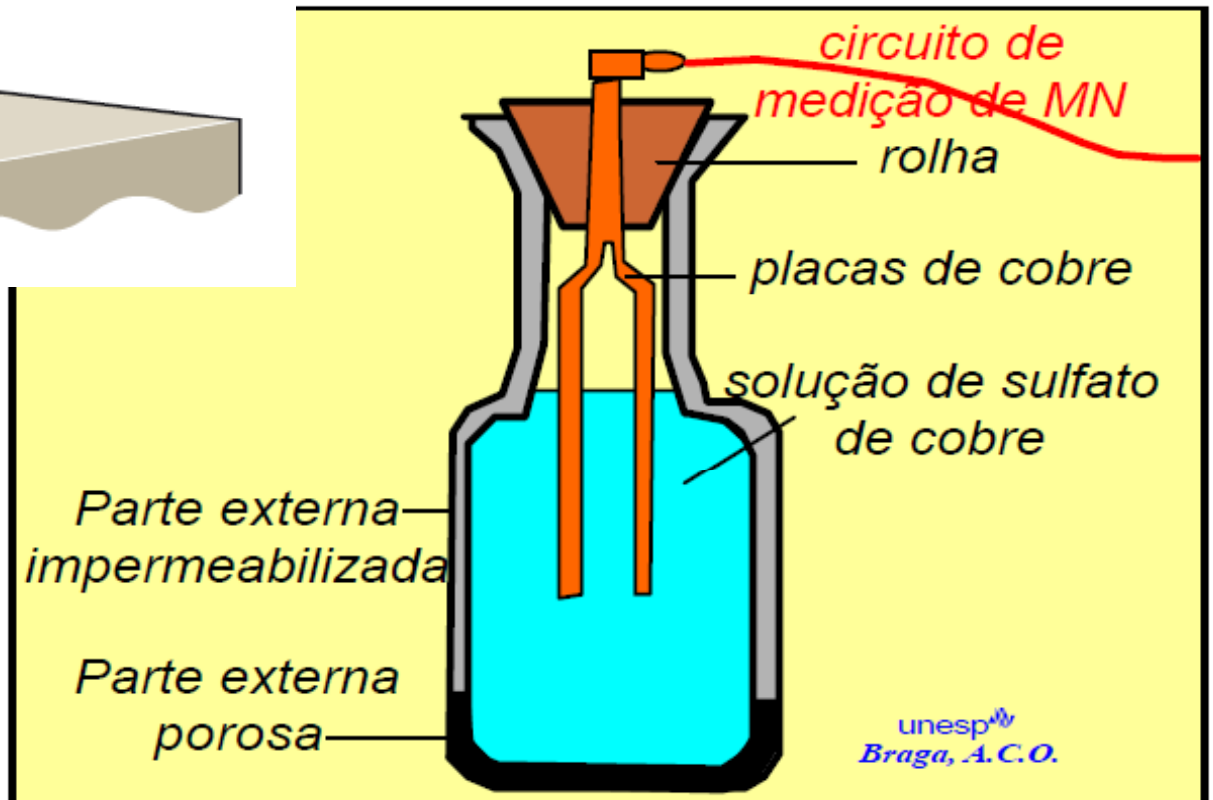
Un electrodo fijo conectado al terminal negativo del voltímetro. Un electrodo itinerante conectado al positivo.



Ambos electrodos se desplazan por el área a relevar, con separación constante.

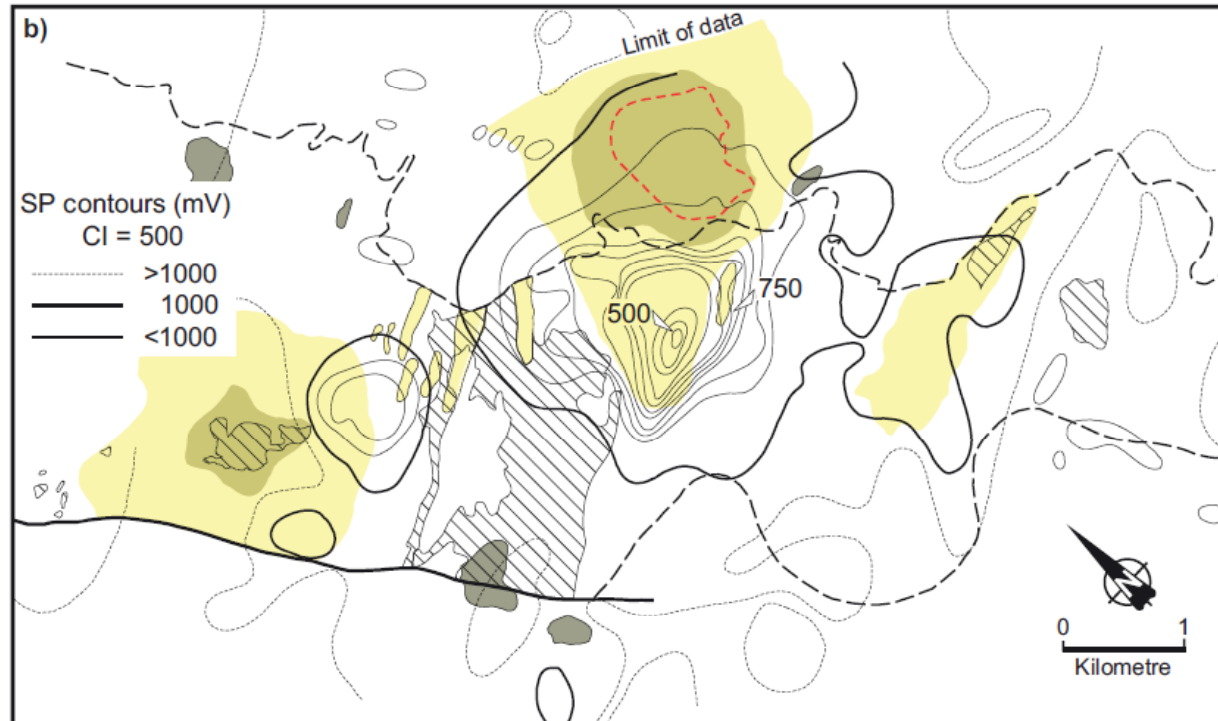
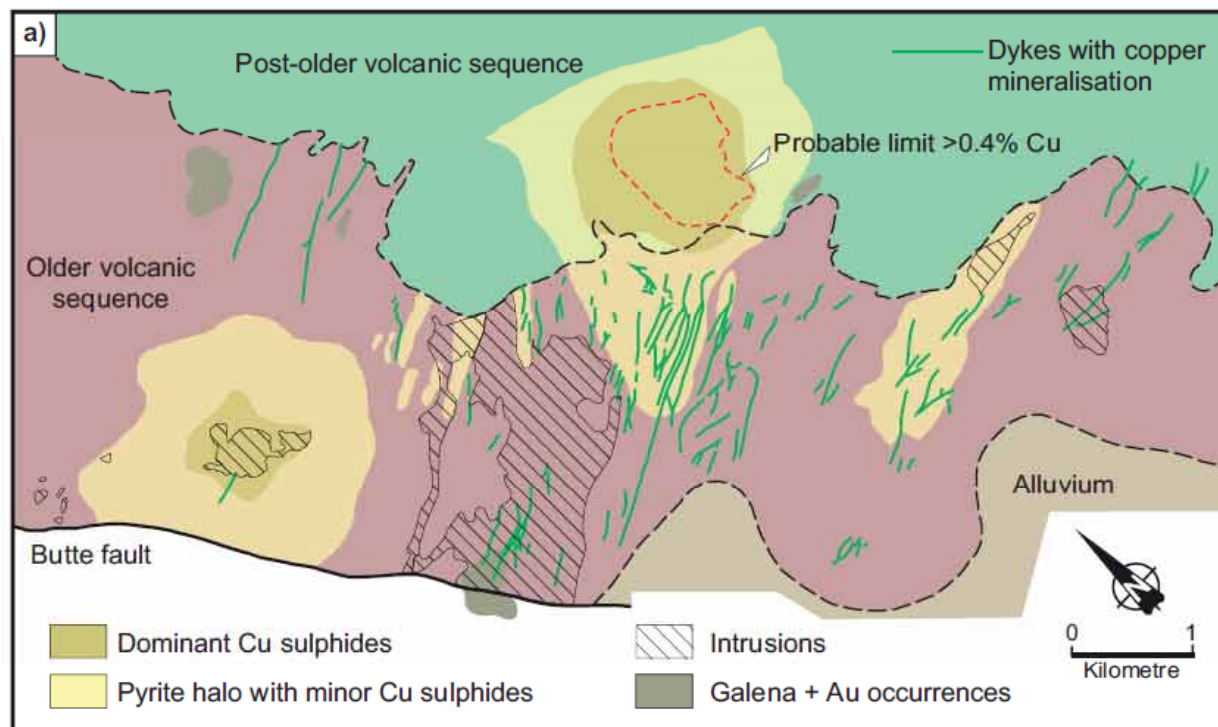


La medición del potencial espontáneo requiere electrodos no polarizables, cable y un voltímetro



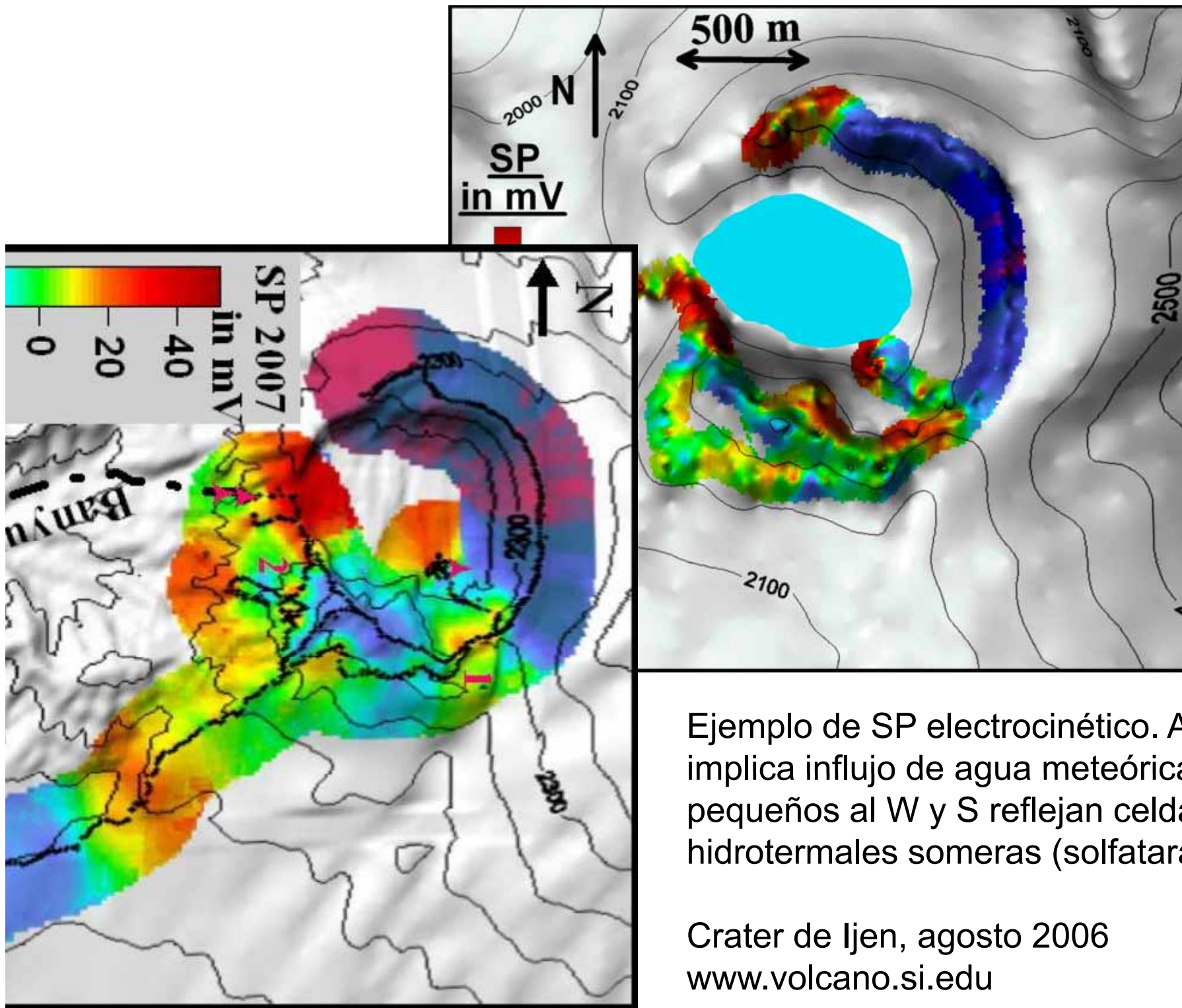






Mapa de contornos de SP relacionado con potencial electroquímico en cuerpos someros mineralizados

Figure 5.32 Safford porphyry Cu deposit. (a) Summary geological map showing the distribution of sulphide mineralisation. (b) Contours of surface SP. Note the correspondence between the main SP anomaly and the mineralisation within dykes. Redrawn, with permission, from Robinson and Cook (1966).



Ejemplo de SP electrocinético. Al E negativo implica influjo de agua meteórica. Positivos pequeños al W y S reflejan celdas hidrotermales someras (solfataras)

Crater de Ijen, agosto 2006
www.volcano.si.edu

Aplicaciones del potencial espontáneo

- Encontrar pérdidas en endicamientos, represas, reservorios de agua
- Encontrar pérdidas en rellenos sanitarios
- Definir plumas de contaminantes
- Detectar corrosión en cañerías
- Explorar sulfuros masivos someros
- Detectar corrientes parásitas
- En perfilaje de pozos (caracterización litológica en ambientes con hidrocarburos)