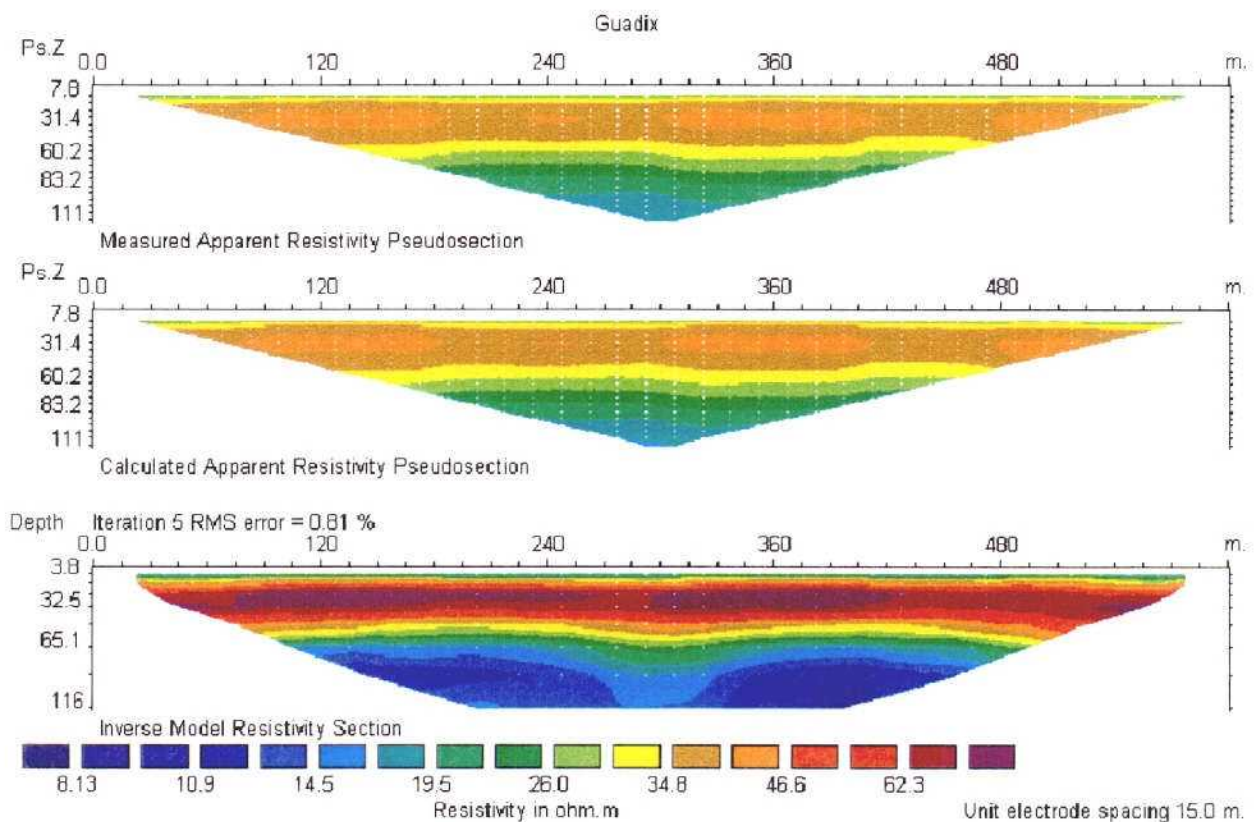


ENSAYO DE TOMOGRAFÍA ELECTRICA EN LAS DEHESAS DE GUADIX (GRANADA)



AREA DE GEOFÍSICA Y TELEDETECCIÓN

Orden de trabajo para el proyecto: *Investigación del impacto sobre el medio ambiente de la técnica de depuración de aguas residuales urbanas mediante infiltración directa sobre el terreno. Empleo de un modelo experimental y simulación matemática. N° de SICOAN 2001-018*

Marzo 2003



INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
EL MÉTODO DE PERFILAJE ELÉCTRICO (TOMOGRFÍA DE RESISTIVIDAD).....	1
DATOS DE LA ZONA.....	4
EQUIPO DE MEDIDA Y SOFTWARE DE INTERPRETACIÓN EMPLEADO.....	6
INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS.....	7
EMPLAZAMIENTO 2.....	7
EMPLAZAMIENTO 1.....	10
EMPLAZAMIENTO 3.....	11
RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	12

ANEXOS:

FIGURAS

A.- RELACIÓN DE FICHEROS GENERADOS

B.- PARÁMETROS EMPLEADOS EN LA INVERSIÓN

ENSAYO DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA EN LAS DEHESAS DE GUADIX (GRANADA)

INTRODUCCIÓN

El Área de Geofísica del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), ha llevado a cabo durante los días 11 al 22 de Noviembre de 2002, una campaña de geofísica, mediante el método de perfilaje eléctrico (tomografía eléctrica), en las proximidades del río Guadahortuna, junto a la población de Dehesas de Guadix, en la provincia de Granada.

Este trabajo se corresponde a una orden de trabajo del proyecto "Investigación del impacto sobre el medio ambiente de la técnica de depuración de aguas residuales urbanas mediante infiltración directa sobre el terreno. Empleo de un modelo experimental a escala real y simulación matemática", N° SICOAN 2001-018. Dentro de este proyecto se está realizando un modelo matemático para simular el flujo del agua subterránea en un tramo del aluvial del río Guadahortuna.

La zona de trabajo se sitúa dentro de la hoja del mapa topográfico nacional a escala 1.50000 número 971, Cuevas del Campo, en la zona de aluvial próxima a la población de Dehesas de Guadix (Granada) (figura 1).

El objetivo del ensayo es determinar la posición del substrato impermeable sobre el cual se asienta la formación acuífera, y que en sondeos de la zona se sitúa entre 55 y 60 metros de profundidad. Esta información se considera básica para la elaboración del modelo matemático.

Para cumplir este objetivo se solicita por parte de la dirección del proyecto la realización de tres perfiles de geofísica eléctrica, con una longitud aproximada de 1 Km cada uno, que se situarían más o menos de manera perpendicular al río Guadahortuna, en las posiciones señaladas en la figura 1.

EL MÉTODO DE PERFILAJE ELÉCTRICO (TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD)

El propósito de una campaña eléctrica es el de determinar la distribución en el subsuelo de la resistividad mediante la realización de medidas en superficie. A partir de estas medidas, podemos estimar la verdadera resistividad del subsuelo, que esta relacionada con parámetros geológicos como son: el contenido mineral y de fluido, la porosidad, el grado de saturación de agua de la roca, etc.

Las medidas de resistividad se hacen normalmente inyectando corriente al terreno a través de un par de electrodos denominados de "corriente", y midiendo la diferencia de potencial entre otro par de electrodos denominados de "potencial". A partir de la corriente y el voltaje medido podemos calcular un valor de resistividad aparente mediante la expresión:

$$\rho_a = k V/I$$

donde K es un factor geométrico que depende de la disposición de los electrodos. En la figura 2 se muestran los dispositivos más comunes junto con su factor geométrico.

Tradicionalmente las medidas de resistividad se ajustan a un modelo 1-D, con variaciones de resistividad con la profundidad y asumiendo que el subsuelo está compuesto de capas horizontales (Sondeo Eléctrico Vertical).

Actualmente se trabaja con modelos del subsuelo en 2-D, donde la resistividad varía no solo con la profundidad sino que también lo hace lateralmente, sin que cambie en la dirección perpendicular a la línea de medida, de una manera rápida y económica.

En los últimos años se han desarrollado el uso de perfiles eléctricos 2-D (tomografía), para estudiar áreas con una geología moderadamente compleja. Estas campañas se llevan a cabo utilizando un gran número de electrodos, conectados mediante un cable multiconductor (cable con varios hilos conductores). De manera automática y controlado por un procesador, se seleccionan los cuatro electrodos que se van a utilizar en ese momento para realizar la medida de entre los varios que se encuentran dispuestos por el terreno.

En la figura 3 se muestra un esquema típico de una medida en 2-D, con los electrodos dispuestos en un perfil según una línea recta. Normalmente se utiliza un espaciado constante entre los electrodos. La secuencia de medida, el tipo de dispositivo a emplear, así como otros parámetros de lectura, se introducen en el aparato mediante un fichero de texto que es leído en el procesador del equipo, los formatos de estos ficheros y el tipo de control del equipo dependen de las características particulares de los diferentes instrumentos que existen en el mercado. Después de leer el fichero de control, el programa selecciona de manera automática los electrodos apropiados para cada lectura. En una campaña la mayor parte del trabajo de campo se dedica a la disposición de los electrodos, aunque la mayor parte del tiempo se dedica a esperar mientras se toman las medidas.

Para representar los datos de la campaña 2-D, se utiliza normalmente la pseudosección. La localización horizontal de un dato se sitúa en el punto medio del juego de electrodos utilizados para hacer la medida. La localización vertical del dato se sitúa a una distancia proporcional a la separación de los electrodos. Otro método consiste en situar la posición vertical del dato en la profundidad media de investigación (Edwards 1977, *Geophysics*, 42, 1020-1036), o pseudoprofundidad del dispositivo empleado. El valor de la pseudoprofundidad está basado en los valores de sensibilidad o derivadas de Fréchet para un semiespacio homogéneo. Puesto que este último parece tener alguna base matemática, es el que normalmente se emplea. En la tabla 1 se muestran las profundidades medias de investigación para los diferentes dispositivos. No obstante conviene enfatizar que la pseudosección es simplemente una manera de representación que proporciona una imagen aproximada de la distribución de resistividad del subsuelo, aunque ésta pueda estar distorsionada debido a que las isolíneas dependen del tipo de dispositivo empleado así como de la verdadera resistividad del subsuelo. La pseudosección es útil como un medio de representar la resistividad aparente medida, y como un modelo inicial para la interpretación cuantitativa. Un error sería el utilizar la pseudosección como una representación final de la resistividad real del terreno.

Array type	z_0/a	z_0/L
Wenner Alpha	0.519	0.173
Wenner Beta	0.416	0.139
Wenner Gamma	0.594	0.198
Dipole-dipole		
n - 1	0.416	0.139
n - 2	0.697	0.174
n - 3	0.962	0.192
n - 4	1.220	0.203
n - 5	1.476	0.211
n - 6	1.730	0.216
Equatorial dipole-dipole		
n - 1	0.451	0.319
n - 2	0.809	0.362
n - 3	1.180	0.373
n - 4	1.556	0.377
Wenner - Schlumberger		
n - 1	0.52	0.173
n - 2	0.93	0.186
n - 3	1.32	0.189
n - 4	1.71	0.190
n - 5	2.09	0.190
n - 6	2.48	0.190
Pole-dipole		
n - 1	0.52	
n - 2	0.93	
n - 3	1.32	
n - 4	1.71	
n - 5	2.09	
n - 6	2.48	
Pole-Pole	0.867	

Tabla 1. Profundidad media de investigación (Z_0) para los diferentes tipos de dispositivos. L es la longitud total del dispositivo. El factor geométrico es para un $a=1$ metro. (Edwards 1977)

En la figura 4 se observa como el uso de diferentes dispositivos puede proporcionar formas diferentes en las pseudosecciones al estudiar la misma estructura. Cada tipo de dispositivo tiene sus ventajas y sus desventajas, la elección del mejor dispositivo para una campaña depende del tipo de estructura a estudiar, la sensibilidad del equipo de medida y el nivel de ruido de la zona. Entre las características a tener en cuenta a la hora de elegir un dispositivo están: la sensibilidad del dispositivo a cambios laterales y /o verticales del subsuelo, la profundidad de investigación, la cobertura horizontal del dispositivo y la fuerza de la señal.

El dispositivo Wenner es relativamente sensible a cambios verticales en la resistividad del subsuelo debajo del centro del dispositivo. En general es bueno resolviendo cambios horizontales (estructuras verticales). Comparado con otros dispositivos posee una moderada profundidad de investigación (tabla 1), y es el dispositivo con mayor fuerza de señal, lo que puede ser un factor importante en áreas de alto ruido de fondo. Una desventaja de este dispositivo es la relativamente pobre cobertura horizontal.

El dispositivo Dipolo-Dipolo es muy sensible a cambios horizontales de resistividad y relativamente insensible a cambios verticales de resistividad, lo que significa que es muy bueno resolviendo estructuras verticales como diques y cavidades, pero

relativamente pobre resolviendo estructuras horizontales como capas sedimentarias. Este dispositivo posee una menor profundidad de investigación comparada con el dispositivo Wenner, pero sin embargo posee una mejor cobertura horizontal. Una desventaja de este dispositivo es la señal tan débil que se recibe para grandes valores de n , por lo que el equipo de medida debe de poseer una alta sensibilidad y un buen sistema de rechazo de ruido.

El dispositivo Wenner-Schlumberger es moderadamente sensible a estructuras verticales y horizontales y podría ser un buen compromiso entre los dos dispositivos citados anteriormente. La profundidad de investigación de este dispositivo es alrededor de un 10% mayor que para el dispositivo Wenner y su fuerza de señal es menor que la del dispositivo Wenner y mayor que la del dispositivo Dipolo-Dipolo. La cobertura horizontal de este dispositivo es mejor que la obtenida con el Wenner pero peor que la que se obtiene con el Dipolo-Dipolo.

A la hora de realizar la inversión de los datos tenemos que tener en cuenta que la solución no es única, para los mismos datos medidos existen un amplio rango de modelos que pueden dar lugar a los mismos valores calculados de resistividad. En el caso de que los cuerpos del subsuelo posean límites graduales el programa de inversión puede utilizar el algoritmo de inversión de smoothnes constrain, el cual trata de minimizar el cuadrado de las diferencias entre los valores de resistividad medidos y calculados. En los casos en que los cuerpos consisten en cuerpos discretos, casi homogéneos internamente, y con límites netos, el algoritmo de inversión apropiado es el robust constrain, que trata de minimizar al valor absoluto de las diferencias entre los valores medidos y calculados de resistividad. Estos dos algoritmos proporcionan valores extremos del rango de modelos que es posible obtener con un conjunto de datos, por lo que puede ser recomendable el realizar dos inversiones, una con cada tipo de algoritmo y comparar los resultados.

DATOS DE LA ZONA

Como datos de partida se ha contado con los proporcionados por el Director del proyecto: El nivel piezométrico oscila entre los 11 y los 16 metros. En la zona de balsas de infiltración un sondeo típico presenta la siguiente columna:

0 a 10 metros	limos y arcillas
10 a 11 metros	arenas
11 a 12 metros	limos
12 a 14 metros	arenas
14 a 16 metros	limos, arcillas
16 a 48 metros	gravas
48 metros en adelante	margas (base impermeable que constituye el muro del acuífero)

la porosidad de los limos es de alrededor del 50 %. El muro del acuífero, en la zona central del aluvial puede oscilar entre los 50 y los 65 metros de profundidad. La continuidad lateral de los niveles arenosos es escasa formando lentejones o rellenando antiguos cauces. Los pozos que hay en la margen izquierda del río son mucho menos productivos que los situados en la margen derecha.

A partir de estos datos se ha preparado un modelo sintético correspondiente a la zona próxima a las balsas de infiltración y basado en la columna mostrada anteriormente; las resistividades asignadas a las diferentes capas del modelo son estimadas, sin que se basen en ningún dato real disponible. El modelo creado es:

0 a 10 metros limos y arcillas con una $\rho=20 \Omega.m$
10 a 16 metros alternancia de limos y lentejones de arenas con una $\rho=30 \Omega.m$
para los limos y de $\rho=50 \Omega.m$ para las arenas.
16 a 40 metros gravas con una $\rho=80 \Omega.m$
48 en adelante margas con una $\rho=10 \Omega.m$

mediante el programa RES2DMOD se ha calculado la pseudosección de resistividad aparente para el modelo anteriormente definido. Se han calculado pseudosecciones para cada uno de los tres tipos de dispositivos que se tiene previsto emplear Wenner, Dipolo-Dipolo y Schlumberger; y calculándose para dos espaciados de electrodos, 5 m y 15 m, que son de los que dispone el equipo del IGME.

En las figuras 5 a 10 se observan las pseudosecciones obtenidas mientras que en las figuras 11 a 16 se muestran las secciones de resistividad obtenidas con el programa de inversión RED2DINV a partir de las pseudosecciones calculadas. Como se puede apreciar solamente alcanzan la profundidad de investigación necesaria los perfiles medidos con un espaciado entre electrodos de 15 metros, aunque pierden resolución sobre todo en los primeros metros. Con un espaciado de 5 metros no parece que se sobrepasen los 40 metros de profundidad de investigación, lo que es insuficiente para este trabajo. La mayor profundidad de investigación, 116 metros, se alcanza con el dispositivo Schlumberger (figura 16), sin embargo, en profundidad, produce un efecto extraño en el centro del perfil, debido posiblemente a su mayor sensibilidad a cambios laterales; los tres dispositivos cartografían el acuífero aproximándose al modelo inicial, e incluso en los dispositivos Wenner y Schlumberger se aprecian las zonas modeladas con lentejones arenosos aunque sin definir bien su geometría.

Dado que el dispositivo más rápido de medir es el Wenner, este es el que se ha tomado como referencia para la campaña, midiéndose los tres perfiles con este dispositivo y con un espaciado entre electrodos de 15 metros. También y con carácter de investigación se han medido todos los perfiles con otro dispositivo para así poder comparar los resultados obtenidos.

Para poder obtener una estimación del espesor de las capas se han medido Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) en las proximidades de los centros de los perfiles, cada uno de ellos con un AB diferente en función del terreno y de la profundidad a que se encuentra el substrato impermeable.

La relación de los trabajos realizados es la siguiente:

Emplazamiento 1:

Perfil Wenner de 1200 m de longitud y 15 m de separación entre electrodos. Perfil Wenner-Schlumberger de 1200 m de longitud y 15 m de separación de electrodos.
Sondeo Eléctrico Vertical p1 de AB 320 m

Emplazamiento 2:

Perfil Wenner de 1200 m de longitud y 15 m de separación entre electrodos. Perfil Dipolo-Dipolo de 1200 m de longitud y 15 m de separación de electrodos.
Sondeo Eléctrico Vertical p2 de AB 1000 m

Emplazamiento 3:

Perfil Wenner de 1200 m de longitud y 15 m de separación entre electrodos. Perfil Dipolo-Dipolo de 1200 m de longitud y 15 m de separación de electrodos.
Sondeo Eléctrico Vertical p3 de AB 640 m.

Las coordenadas y datos de los perfiles y SEV medidos se describen en la tabla 2 y su situación final se puede observar en la figura 17

EQUIPO DE MEDIDA Y SOFTWARE DE INTERPRETACIÓN EMPLEADO

Para la realización de los SEV el equipo empleado ha sido el resistivímetro Syscal R2 de la casa francesa IRIS Instruments. Los perfiles de resistividad, tomografía eléctrica, se midieron utilizando el sistema LUND de la casa sueca ABEM. Para la interpretación de los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) el software empleado fue el Ix1d, programa para la interpretación semiautomática de SEV de la casa estadounidense Interpex. La interpretación de los perfiles fue hecha con los siguientes programas: RES2DMOD ver.2.2 de M.H. Loke, para la obtención de los modelos directos, y RES2DINV ver 3.46b de M.H. Loke, para la inversión de los datos de campo y obtención de los perfiles de resistividad finales. Los parámetros empleados en la inversión han sido los mismos para todos los perfiles y se describen en el anexo.

COORDENADAS UTM DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

Coordenadas estimadas por GPS de los perfiles medidos							
Emplazamiento	Extremo sur		Centro		Extremo norte		Azimuth
	x	y	x	y	x	y	
1	489889	4161724	489747	4161151	489518	4160618	10
2	491342	4161484	491388	4160902	491449	4160328	177
3	492708	4161890	492996	4161384	493296	4160865	155

Coordenadas del centro del SEV estimada por GPS					
Emplazamiento	x	y	z	Azimuth	AB
1 (SEV p1)	489747	4161151	660	101	320
2 (SEV p2)	491395	4160827	645	95	1000
3 (SEV p3)	492994	4161380	630	95	640

El centro del SEV p1 coincide con el centro del perfil 1

El centro del SEV p2 coincide con la salida 6 del cable 3 (75 m hacia el sur del centro del perfil)

El centro del SEV p3 coincide con la salida 5 del cable 3 (60 m hacia el sur del centro del perfil)

Tabla 2. Coordenadas y características de los trabajos realizados

Los ficheros con los datos de campo y los resultantes de la interpretación, así como los ficheros de texto de este informe se han almacenado en formato digital, y se han archivado en la base de datos del Área de Geofísica del IGME.

INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

A partir de los datos de campo el esquema de interpretación seguido ha sido el siguiente:

Interpretación del SEV del emplazamiento 2 según el modelo geológico proporcionado por el Director del proyecto.

Comparación de este SEV con los otros medidos en los otros emplazamientos.

Interpretación de los perfiles medidos en el emplazamiento 2, según el modelo geológico disponible y de la interpretación del SEV. Comparación entre los perfiles medidos con otros dispositivos.

Interpretación de los perfiles medidos en los otros emplazamientos y comparación de los resultados obtenidos con otros dispositivos.

En las interpretaciones de todos los perfiles, primero se ha obtenido la distribución de los niveles medidos teniendo en cuenta todos los datos medidos, a continuación se ha procedido a la inversión de estos datos utilizando el algoritmo de smoothness-constrain incluyendo la topografía del perfil en la inversión, luego se han eliminado los datos cuyo error de lectura fuera superior al 2%, por último se ha procedido a eliminar los picos de resistividad de una manera manual y subjetiva. La inversión final se ha realizado con este último juego de datos, teniendo en cuenta la topografía del perfil y utilizando los algoritmos de smoothness-constrain y de robust inversion.

EMPLAZAMIENTO 2

Este emplazamiento es, figura 17, el más próximo al pueblo y se sitúa junto a la balsa de infiltración.

SEV p2

Con este SEV se ha realizado una primera interpretación empleando como modelo inicial el de la columna geológica conocida para este emplazamiento, el error de ajuste es del 25 %, figura 18, y se aprecia como el SEV identifica el paso de gravas a margas, pero que los primeros tramos de la curva no corresponden con las capas descritas en la columna geológica. Para este ajuste hemos introducido los espesores de las capas, dejándolos fijos durante la inversión, y permitiendo al programa ajustar los valores de resistividad. Si realizamos la inversión variando el número de capas obtenemos un modelo de 5 capas con la siguiente distribución, figura 19:

Resistividad (Ω .m)	Profundidad (metros)
71.31	0.5
6.06	5.44
11.07	10.38

el paso al substrato impermeable (margas), caracterizado por el substrato conductor, se produce sobre los 48 metros, coincidiendo con los datos de partida. Por encima del substrato aparecen dos niveles con resistividades de 11 y 17 Ω .m, que poseen un espesor conjunto de 43 metros y que engloban al conjunto de gravas, limos y arenas. El paquete arcillo-limoso superficial viene representado por el conductor de 6 Ω .m y 5 metros de espesor. En los modelos obtenidos del análisis de equivalencia de este SEV, figura 19, se observa la buena definición tanto en resistividad como en profundidad del primer cambio (resistivo superficial y limos y arcillas) y del último (gravas y margas), mientras que el resto están peor definidos, lo que pondría en duda su valor de resistividad y espesor.

Comparación con los otros SEV

En la figura 20 se han representado conjuntamente las curvas de los tres SEV medidos en los distintos emplazamientos, eliminando los empalmes de los cambios de base. Se observa el mismo tipo de curva para los tres emplazamientos. Los SEV p1 y p2 son muy parecidos, si bien con mayores valores de resistividad en el primero. El SEV p3 presenta una diferencia en las capas superficiales con respecto a los otros dos. En los tres SEV se alcanza un substrato conductor que parece corresponder con el substrato impermeable.

Perfil Geoelectrico

En la figura 21 se representa la distribución por niveles de los datos medidos con el dispositivo Wenner y con separación entre electrodos de 15 m, para el perfil efectuado en el emplazamiento 2; en ella se observan unos fuertes picos en el primer nivel. En la figura 22 se muestra la imagen de resistividad de este perfil, producto de la inversión y con un error de ajuste del 19.6%, presenta un fuerte resistivo rectangular próximo al centro debido a la existencia de los picos citados, además presenta un resistivo a la derecha del centro del perfil que según la figura alcanza más de 130 m de espesor. En la figura 23 se muestra la distribución por niveles de los datos medidos para este mismo perfil pero representando solamente los puntos que tienen un error de medida por debajo del 2%, como se observa no han desaparecido los picos del primer nivel, aunque muestra un aspecto más suavizado en los niveles más profundos. Se han eliminado los picos con valores elevados de manera manual, obteniéndose la distribución de la figura 24, el aspecto más ondulado de los niveles se debe a que se ha producido un cambio en la escala de valores de resistividad del perfil con respecto a las figuras anteriores. Se ha procedido a realizar la inversión de estos datos, teniendo en cuenta el efecto de la topografía, obteniéndose la imagen de la figura 25. En ella se aprecia como el error de ajuste ha bajado a un 8.7%, y han desaparecido el fuerte resistivo rectangular junto al centro del perfil, y la anomalía resistiva que ocupaba todo el espesor del perfil en la imagen precedente. En esta imagen se ha superpuesto la columna con la información geológica disponible en la posición donde se realizó el SEV p2, apreciándose una buena correlación entre el paquete resistivo y las gravas. Los paquetes resistivos se pueden correlacionar con tramos acuíferos de gravas, siendo el de mayor potencia y extensión el que se encuentra bajo el centro del perfil entre las posiciones -90 y 120. Parece que este resistivo desaparece entre las posiciones 150 y 240, volviendo a aparecer en otro tramo

menos potente y que se extiende entre las posiciones 240 y 390, desapareciendo de nuevo a partir de la posición 450. En la parte norte del perfil, vemos que este resistivo existe bajo el río, extendiéndose hasta la posición -400 para luego desaparecer. Si comparamos esta imagen con la del modelo teórico de la figura 5, parece que estos lentejones resistivos pueden coincidir con tramos más arenosos o menos arcillosos del acuífero, las separaciones de estos tramos pueden ser debidos a la desaparición de los mismos por cambios de facies o bien a la existencia de discontinuidades. Esta interpretación ha sido realizada para un perfil invertido con el algoritmo smoothness constrain, que provoca un cambio gradual al pasar de una formación a otra. En la figura 26, se puede observar el mismo perfil pero invertido con el algoritmo de robust inversion, que produce cambios más netos entre las formaciones, la interpretación obtenida es prácticamente igual a la obtenida con el método anterior, disminuyendo el error de ajuste al 2.8%.

En este emplazamiento se ha medido este mismo perfil empleando un dispositivo Dipolo-Dipolo. En la figura 27 se muestra la distribución por niveles de los datos medidos, observándose el pico existente en el primer nivel cerca del centro; en la figura 28, imagen con la inversión de este perfil, se aprecia también una anomalía resistiva rectangular cerca del centro del perfil, como ocurría con el dispositivo Wenner. En la figura 29 se muestra la distribución de los puntos medidos con errores inferiores al 2%, además se ha procedido a eliminar de manera manual los picos ruidosos, figura 30. La imagen con el perfil de resistividad producto de la inversión utilizando el algoritmo de smoothness constrain y con la columna geológica superpuesta se observa en la figura 31, mientras que la figura 32 es la imagen de resistividad del mismo perfil pero invertido con el algoritmo de robust inversion. Comparando estas imágenes observamos como la interpretación de fondo es similar, si bien el algoritmo de robust inversion muestra contrastes más nítidos entre las diversas capas que el algoritmo de smoothness constrain; la columna geológica se correlaciona bien en ambos perfiles, correspondiendo los tramos resistivos a las gravas y arenas que forman el acuífero; las zonas de colores más claros se correlacionan con materiales limo-arenosos, y el substrato impermeable se representa por el color verdoso asignado a las zonas conductoras. El acuífero se desarrolla mejor en la margen derecha del río, y presenta un mayor espesor en la zona próxima al río entre éste y la posición 120, le sigue una zona con materiales menos resistivos hasta la posición 300 donde comienza otro lentejón más resistivo. En la margen izquierda se observan materiales resistivos hasta la posición -390. Con este dispositivo se aprecia la presencia de dos zonas resistivos con continuación en profundidad, entre las posiciones -270 y -300 y entre las posiciones 90 y 210, que pueden estar indicando la presencia de una discontinuidad.

Comparando los perfiles medidos con el dispositivo Wenner y el dispositivo Dipolo-Dipolo e interpretados con el algoritmo de robust inversion, figuras 26 y 32 (las dos con menor error de ajuste), se observa la misma distribución de los tramos resistivos, coincidiendo en general la situación de los lentejones más resistivos y la profundidad del substrato. Las zonas en las que se observa la presencia de materiales resistivos que continúan en profundidad en el perfil Dipolo-Dipolo coinciden con zonas de transición entre lentejones resistivos en el perfil Wenner. Dado las características de estos dispositivos se podría interpretar por la presencia de unas discontinuidades (fallas) en estas zonas.

EMPLAZAMIENTO 1

El SEV p1 realizado en este emplazamiento, se ha interpretado utilizando como modelo inicial el resultado del SEV p2 interpretado en el emplazamiento 2, obteniéndose un modelo de 6 capas con la siguiente distribución, (figura 33):

Resistividad (Ohmios.metro)	Profundidad (metros)
46.04	0.701
5.17	1.7
96.8	3.5
6.04	7.9
49.6	20.6
5.3	

lo que representa una alternancia de tramos resistivos y conductores durante los primeros 20 metros; el análisis de equivalencia nos muestra la mala resolución que se obtiene para los valores de resistividad y espesor de estas primeras capas.

En la figura 34, se muestra la distribución por niveles de los puntos del perfil medidos con el dispositivo Wenner, como sucedía en el emplazamiento anterior se observa la presencia de unos picos altos de resistividad en el primer nivel próximo al centro del perfil. La interpretación obtenida con esta distribución, figura 35, nos indica la distribución de los tramos resistivos, que se correlacionan con el acuífero; en la margen derecha se desarrollan con una potencia entre 20 y 30 metros, con mayor espesor entre las posiciones 240 y 440, y en la margen izquierda se observa también un gran desarrollo de estos materiales con un espesor que alcanza los 45 metros e incluso los 70 metros bajo la posición 30 del perfil. Se ha superpuesto en el perfil la interpretación del SEV p1, apreciándose que no coincide el espesor del resistivo con lo interpretado en el perfil; esto puede deberse a que el conductor final alcanzado en el SEV no se corresponda con el substrato impermeable, y que este se encuentre a mayor profundidad (El AB/2 del SEV fue de 160m). El tramo resistivo desaparece en la margen izquierda del perfil a partir de la posición 210.

En las figuras 36 se representa la distribución de los puntos medidos con errores menores al 2 % sin que desaparezcan los picos de resistividad. En la figura 37 se han eliminado de manera manual estos picos. La interpretación de este perfil empleando el algoritmo de smoothness constrain se muestra en la figura 38 y empleando el algoritmo robust inversion en la figura 39. En ellas se mantiene el esquema con la interpretación ya mencionada si bien con formas más suavizadas.

En la figura 40 se muestra la distribución por niveles de los puntos medidos en este emplazamiento empleando el dispositivo Schlumberger, y su interpretación se observa en la figura 41. En la figura 42 se muestra la distribución de los puntos medidos con errores menores al 2 % y en la figura 43 con los picos de resistividad eliminados de manera manual. La interpretación de este perfil empleando el algoritmo smoothness constrain se observa en la figura 44 y empleando el algoritmo robust inversion en la figura 45. La interpretación con este dispositivo, sobre todo la obtenida en el perfil sin picos de resistividad y con errores de medida menores del 2%, coincide bastante con la obtenida con el dispositivo Wenner.

EMPLAZAMIENTO 3

El conjunto de medidas efectuadas en este emplazamiento ha sido el mismo que el realizado en los emplazamientos anteriores, manteniendo el mismo esquema interpretativo.

El SEV p3, con un AB/2 de 320 m, posee una morfología parecida a la del SEV p2. En su interpretación se ha empleado como modelo inicial la interpretación del SEV p2, y es como sigue (figura 46):

Resistividad (Ohmios.metro)	Profundidad (metros)
23.5	0.78
14.11	2.9
8.7	11.4
11.6	71.4
4.13	

el análisis de equivalencia efectuado en este SEV, presenta un mejor resolución en la resistividad y profundidad de la última capa, pero una peor calidad en las intermedias.

El perfil Wenner medido en este emplazamiento muestra la distribución por niveles de los puntos medidos que se observa en la figura 47, en la que no aparecen los picos de resistividad en el primer nivel que se observaban en los otros emplazamientos. La interpretación de este perfil, figura 48, donde se ha superpuesto la interpretación del SEV p3, muestra la presencia de niveles resistivos distribuidos por el perfil y con espesores de unos 30 metros en los extremos del mismo, y que alcanza los 60 metros en el centro entre las posiciones -30 y 210 correlacionándose bien con el tramo resistivo interpretado en el SEV p3. Se observa también la presencia de un lentejón resistivo bajo el río con una profundidad de unos 100 metros, y la existencia de una posible discontinuidad entre las posiciones 270 y 360 indicada por la continuidad del resistivo en profundidad. Se ha interpretado también el perfil teniendo en cuenta solamente las medidas con errores menores del 2% y eliminando los picos de resistividad de una manera manual, empleando los algoritmos smoothness constrain, figura 51, y robust inversion figura 52. Si observamos estas interpretaciones vemos que presentan las mismas características ya mencionadas pero mucho más suavizadas, con la distribución de lentejones resistivos a lo largo del perfil, dispuestos dentro de un material de carácter menos resistivo, indicándose el substrato impermeable por el conductor existente a lo largo de todo el perfil. En general se han obtenido valores más bajos de resistividad en este emplazamiento que en los anteriores.

Las interpretaciones del perfil medido con el dispositivo Dipolo-Dipolo, empleando todos los puntos medidos, figura 54, o los puntos con errores menores del 2% y con los picos de resistividad eliminados y empleando los algoritmos de smoothness constrain, figura 57, y robust inversion, figura 58, confirman los resultados obtenidos con el perfil Wenner, aunque los lentejones resistivos muestran un carácter más disperso e irregular a lo largo del perfil.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

El Area de Geofísica del IGME ha llevado a cabo un trabajo de geofísica eléctrica en el aluvial del río Guadahortuna próximo a la población de Dehesas de Guadix.

El trabajo ha consistido en la realización de tres perfiles de tomografía eléctrica de 1,2 km de longitud, que cruzan el río con dirección N-S. Estos perfiles proporcionan información de la distribución de los materiales acuíferos del aluvial y de la cartografía del substrato impermeable. Además en cada uno de estos tres emplazamientos se ha medido un SEV, de AB variable, para obtener información de la profundidad del substrato impermeable.

Ante de realizar la campaña y sobre la base de la información geológica proporcionada por el Director del Proyecto se confeccionaron unos perfiles teóricos para estudiar la respuesta esperada en función del dispositivo empleado y la distancia interelectrónica usada. A la vista de los resultados obtenidos se planificó la campaña con el dispositivo Wenner y distancia interelectrónica de 15 m, aunque en cada emplazamiento se ha medido el mismo perfil empleando otro dispositivo bien Schlumberger o bien Dipolo-Dipolo.

Se dispone de un esquema geológico de la zona próxima a la balsa de infiltración y que corresponde al emplazamiento 2. El SEV p-2 ha sido interpretado según este esquema. La comparación entre la curva teórica correspondiente al modelo litológico proporcionado y la curva de campo medida, indica que el conductor final corresponde al substrato margoso impermeable, pero que la distribución de resistividades de las primeras capas no coincide con las litologías conocidas. Se ha conseguido una interpretación consistente en un modelo de 5 capas: comienza con un conductor superficial y continúa con unos tramos más resistivos, 11 y 17 Ω .m, asociados a los materiales acuíferos: limos, arenas y gravas, que llegan hasta los 48,5 m, por debajo comienza el substrato conductor asociado a las margas del substrato impermeable. La comparación de esta curva de SEV, con las curvas de los SEV de los otros emplazamientos, muestra una misma morfología en todas ellas, aunque con diferencias en los primeros tramos de las curvas, correspondiente a los materiales más superficiales.

En el perfil Wenner medido en el emplazamiento 2, se observa la existencia de tramos más resistivos (resistividades superiores a 14 Ω .m), que según la columna geológica corresponden a las gravas del aluvial, estos tramos no muestran continuidad a lo largo del perfil, si bien se encuentran dentro de una matriz de carácter resistivo (más de 7,2 Ω .m), que puede corresponder a materiales limo-arenosos que forman parte del acuífero. Se cartografía bien el substrato conductor asociado a las margas del substrato impermeable. Los tramos resistivos no alcanzan el final del perfil hacia el Norte, cortándose a partir de la posición 390. Con el dispositivo Dipolo-Dipolo, con el que también se ha medido en este emplazamiento, se ha obtenido una morfología más irregular que con el Wenner, aunque los tramos resistivos se siguen situando en los mismos lugares y se sigue cartografiando bien el substrato conductor. Las principales diferencias con el Wenner aparecen bajo el río, en la posición -300, donde el tramo resistivo tiene continuación en profundidad, lo mismo sucede bajo las posiciones 90 a 210; el resistivo situado entre las posiciones 300-400, tiene más expresión y potencia con el dispositivo Dipolo-Dipolo, todas estas discrepancias coinciden más o menos con zonas de transición entre tramos resistivos en el dispositivo Wenner, por lo que, y dado

que el dispositivo Dipolo-Dipolo es más sensible a cambios laterales que el dispositivo Wenner, no podemos determinar si estos efectos son debido a ruido en los datos, o a la existencia de discontinuidades que separan las zonas resistivas. En todos los perfiles interpretados se han eliminado una serie de puntos en el primer nivel y en otros más profundos, que no son errores de lectura ya que éste está por debajo del 2%. Se desconoce si responde a una anomalía real, o son puntos ruidosos efecto de las condiciones del equipo.

En la interpretación del SEV medido en el emplazamiento 1 se ha obtenido un peor ajuste, no quedando bien definidos los espesores y resistividades de las capas, y situando el substrato impermeable sobre los 20 m. El perfil medido con dispositivo Wenner, muestra la distribución de tramos resistivos existentes en esta zona. Los más importantes se localizan entre las posiciones -210 y 480, con un espesor de 30-35 m en la margen izquierda del río y de unos 20 m bajo el río, para aumentar a 30 m en la margen derecha. El substrato impermeable se sitúa más profundo en la parte central del perfil, no coincidiendo con la profundidad obtenida en la interpretación del SEV, esto puede deberse a que no se haya alcanzado este substrato impermeable con el SEV debido a su corto AB. También es posible que en esta zona no exista un cambio neto de gravas a substrato margoso, existiendo un tramo limo-arenoso de transición. Los tramos resistivos desaparecen en la margen izquierda del río a partir de la estación situada a -270 m del centro. Este perfil ha sido medido también con el dispositivo Schlumberger, que se comporta de una manera intermedia entre el Wenner, más sensible a cambios en profundidad y el Dipolo-Dipolo más sensible a cambios laterales. La interpretación obtenida con él, es bastante similar a la obtenida con el dispositivo Wenner. En este perfil también han aparecido picos de resistividad en el primer nivel, no atribuibles a errores de lectura (por debajo del 2%), y que si bien han sido eliminados de la interpretación, no es posible afirmar de manera absoluta que sean efecto de datos ruidosos o bien de heterogeneidades existentes en el terreno.

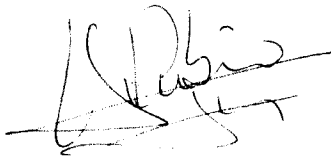
En el emplazamiento 3, se ha obtenido un mejor ajuste en la interpretación del SEV, definiéndose mejor la profundidad del substrato conductor (alrededor de los 70 m). El perfil Wenner medido en este emplazamiento, sitúa el substrato conductor a una profundidad parecida a la indicada por el SEV. Los tramos más resistivos tienen menos continuidad y se sitúan en la margen izquierda del río (posiciones -300 a -450) con una profundidad de hasta 40 m, bajo el río aunque con menor espesor, entre las posiciones 30 a 210 con una profundidad de 50 m, y en el extremo sur del perfil entre las posiciones 360 y 480 donde no supera los 20 m de espesor; aparece también un lentejón bajo la estación 300, con un espesor de unos 30m y alcanzando los 50 m de profundidad. El resto hasta el substrato conductor (70-100 m de profundidad), corresponde a los materiales de transición. En este perfil no se han medido puntos irregulares en los primeros niveles.

Como conclusiones tenemos:

- Los SEV han definido más claramente la profundidad del substrato margoso de carácter conductor en los emplazamientos 2, contrastados con la información geológica disponible, y el 3, mientras que la interpretación presenta más dudas en el 1.

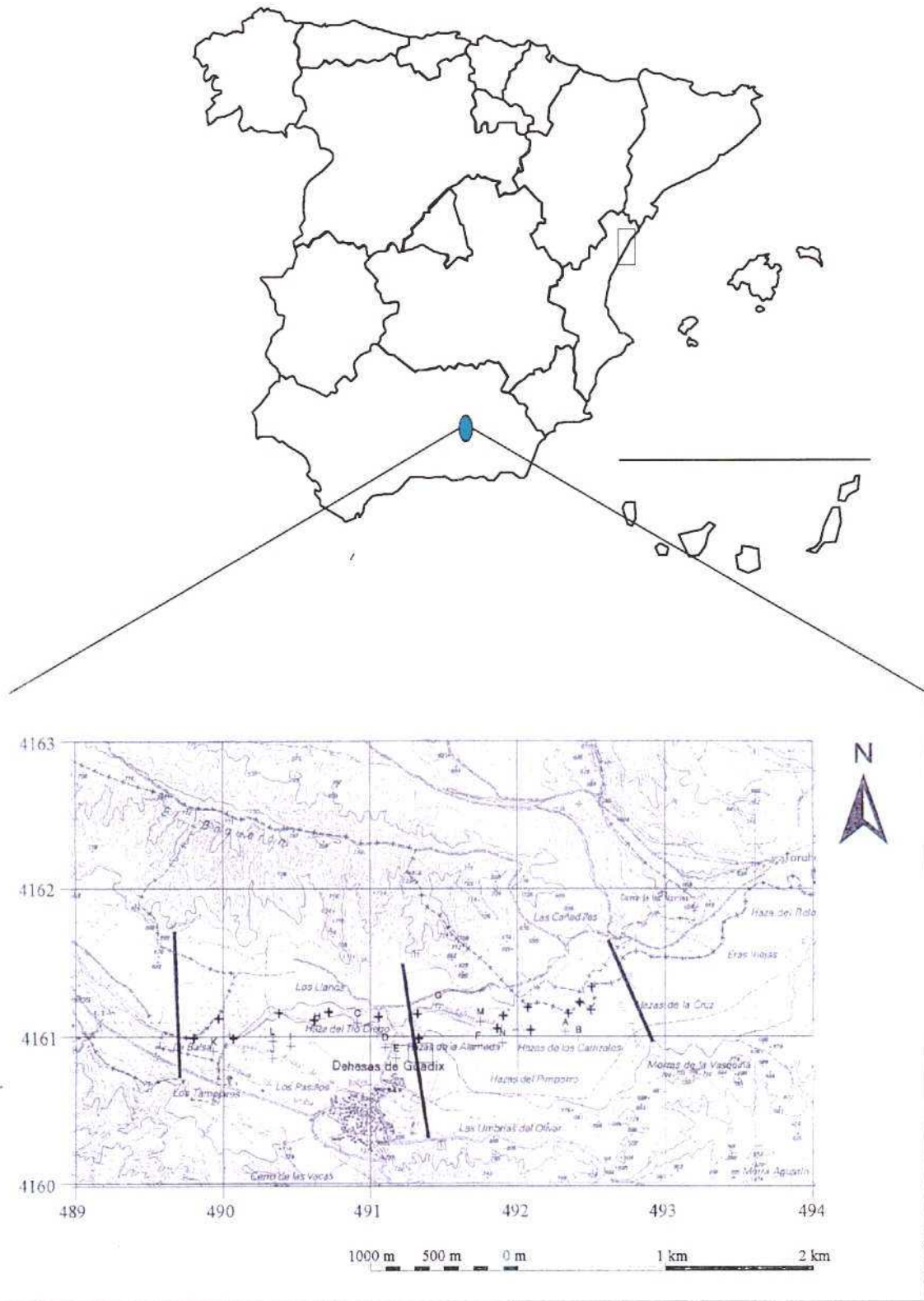
- Los perfiles medidos con el dispositivo Wenner y distancia entre electrodos de 15 m, con errores de medida menores del 2% y con los picos de resistividad eliminados, han definido la existencia de zonas resistivas, correlacionadas con gravas en el emplazamiento 2, que presentan diferentes valores de resistividad en cada perfil. Estos resistivos se encuentran dentro de un material de resistividad más baja, que puede corresponder a materiales de transición limo-arenosos, hasta alcanzar el substrato margoso.
- En el perfil 1, es donde se ha encontrado un mayor espesor del aluvial que el indicado por el SEV. En el perfil 3, con mayor espesor hasta el aluvial, es donde menos continuidad se observa en las zonas más resistivas, pareciendo existir una mayor cantidad de materiales de transición antes de alcanzar el substrato margoso.
- Los perfiles medidos con otros dispositivos, Schlumberger en el emplazamiento 1, y Dipolo-Dipolo en el 2 y el 3, muestran interpretaciones parecidas a las obtenidas con el dispositivo Wenner. El perfil medido con Dipolo-Dipolo presenta cambios laterales coincidentes con zonas de no continuidad de los tramos más resistivos en el dispositivo Wenner, y que se continúan en profundidad; estos cambios pueden estar representando la existencia de inhomogeneidades en estas zonas del perfil, aunque también puede deberse a la existencia de puntos ruidosos.
- En los perfiles 1 y 2 existen picos de resistividad en los primeros niveles, no achacables a errores de medida, ya que éste es menor del 2%, y que han sido eliminados en la interpretación de los perfiles. Se desconoce si son debidos a ruidos del equipo o a la existencia de heterogeneidades superficiales.
- Aunque los objetivos del trabajo parece que se han cumplido con los resultados obtenidos, en el modelo de la zona presentado en los perfiles han aparecido ciertas dudas o interrogantes: existencias de heterogeneidades, espesores de tramos resistivos hasta el substrato, diferente carácter de los materiales de transición, etc. que no pueden ser resueltas con la información geológica disponible. La aparición de alguna columna geológica de la zona y/o la información proporcionada por geólogos conocedores de la misma pueden ayudar a resolverlas.

Madrid Marzo de 2003



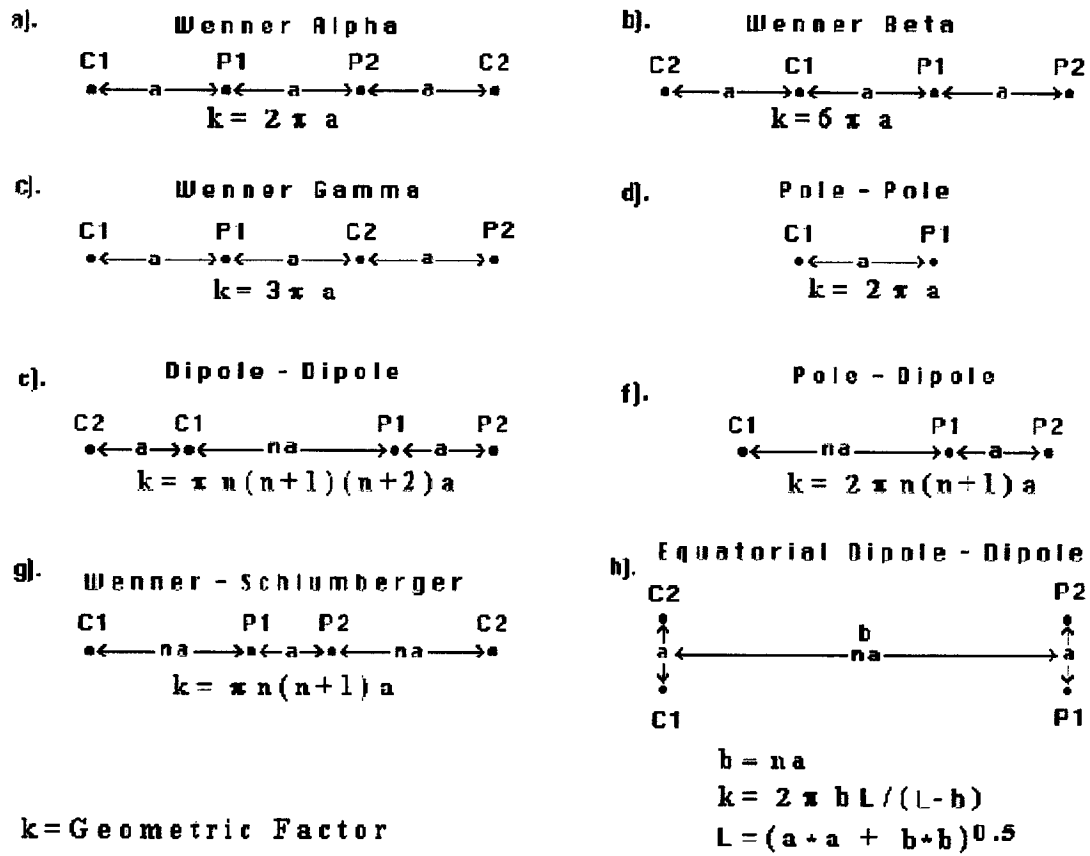
Fdo. Félix M. Rubio

FIGURAS



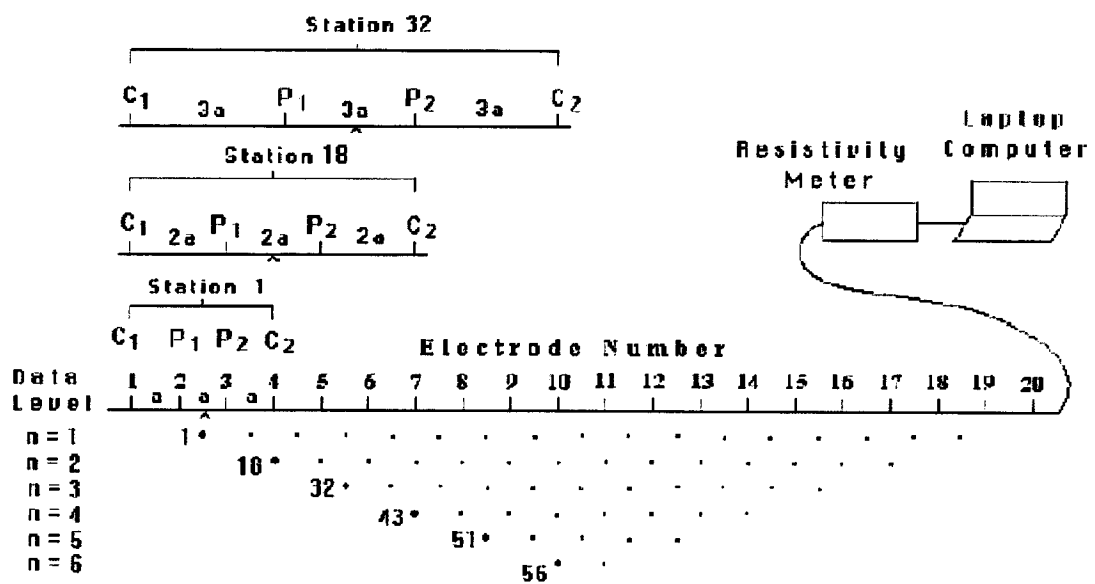
Localización de la zona de trabajo y situación de los tres perfiles solicitados

Figura 1



Dispositivos comunes utilizados en campañas eléctricas y sus factores geométricos

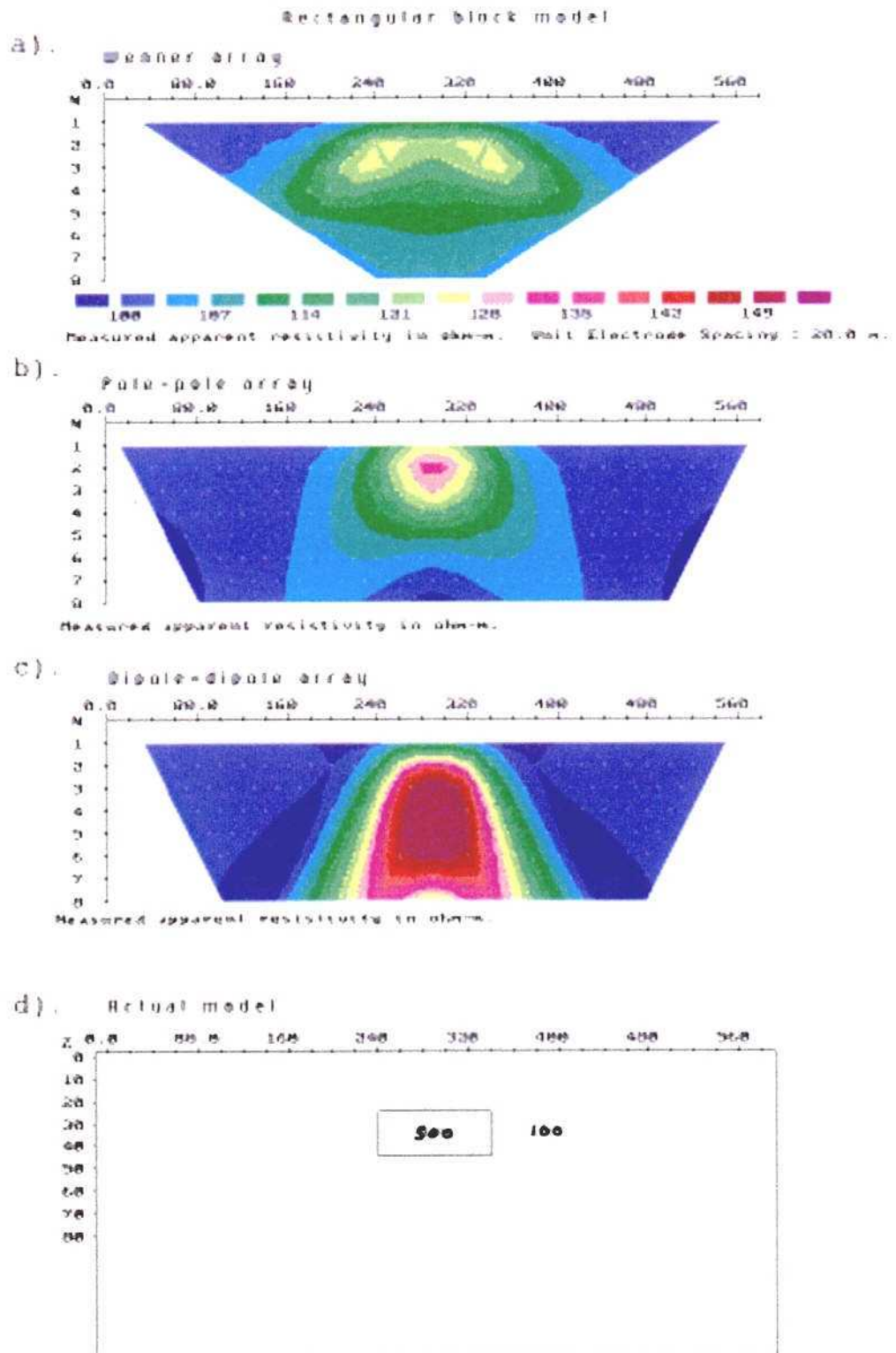
Figura 2



Sequence of measurements to build up a pseudosection

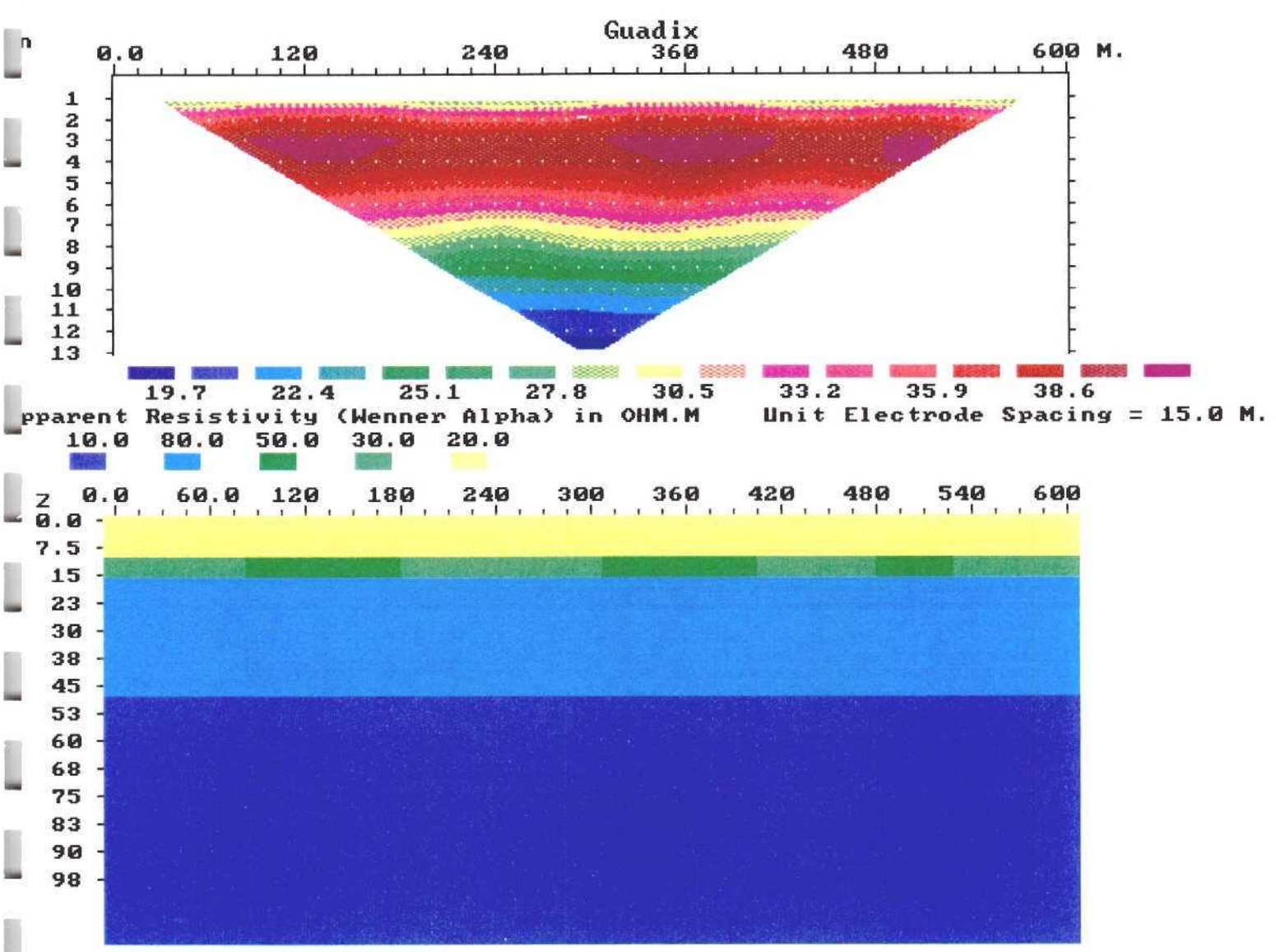
Disposición de electrodos para una campaña eléctrica 2-D y la secuencia de medición para construir una sudosección

Figura 3



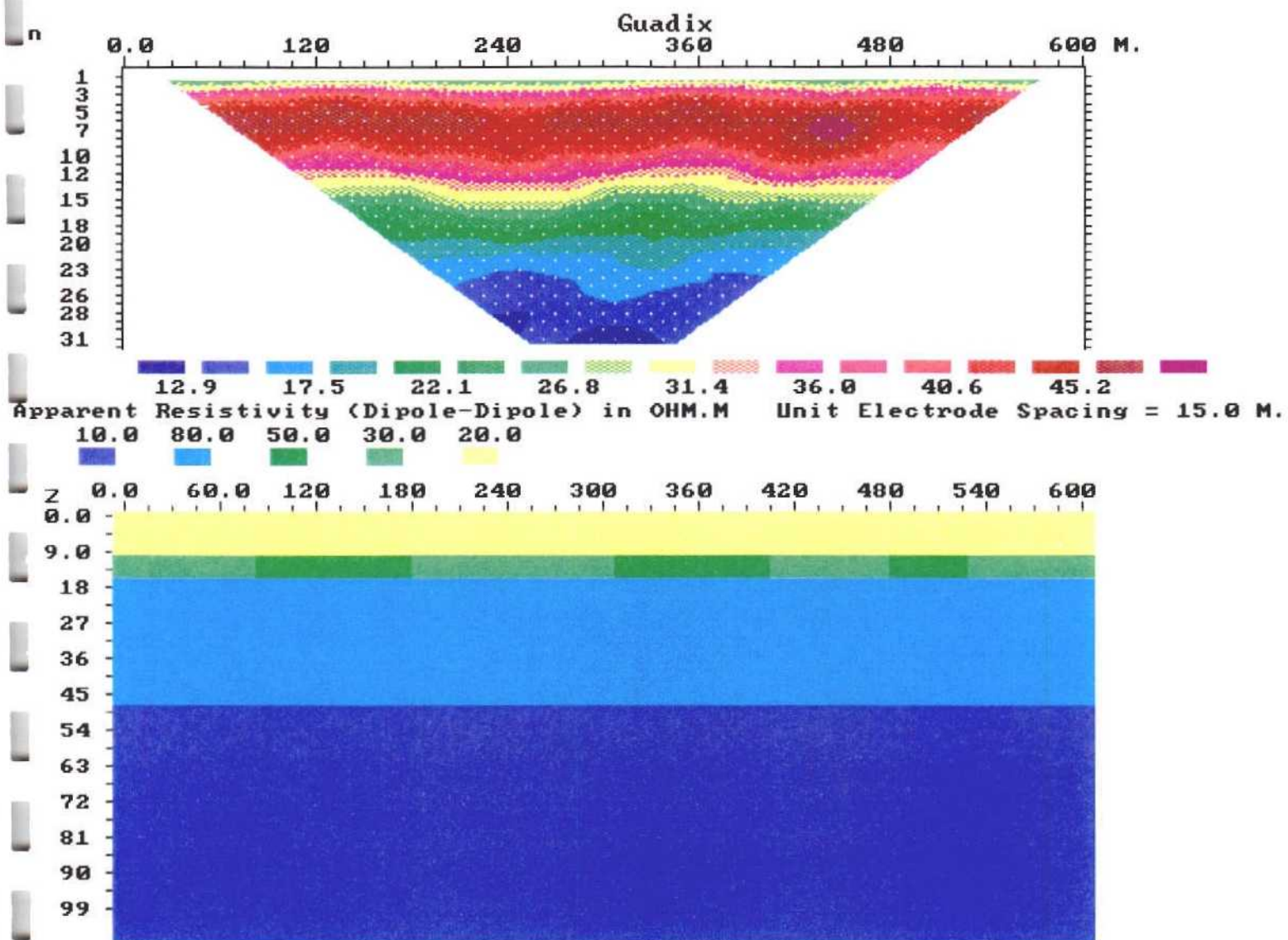
Sedosecciones de resistividad aparente correspondientes a las imágenes 2-D con diferentes dispositivos de un bloque rectangular.

Figura 4



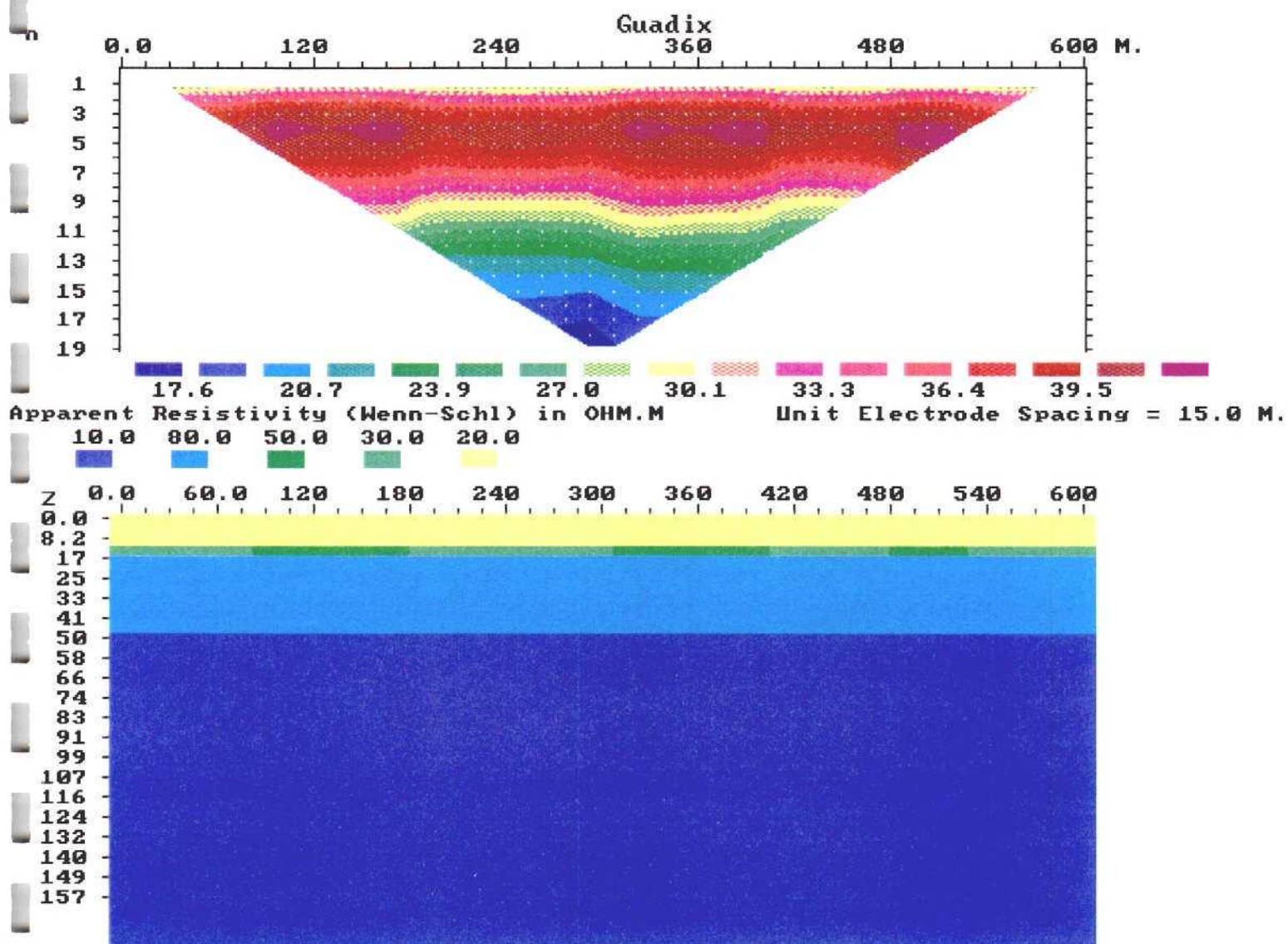
Seudosección de resistividad aparente (parte superior) para el dispositivo Wenner y separación de electrodos de 15 m, correspondiente al modelo teórico definido (parte inferior)

Figura 5



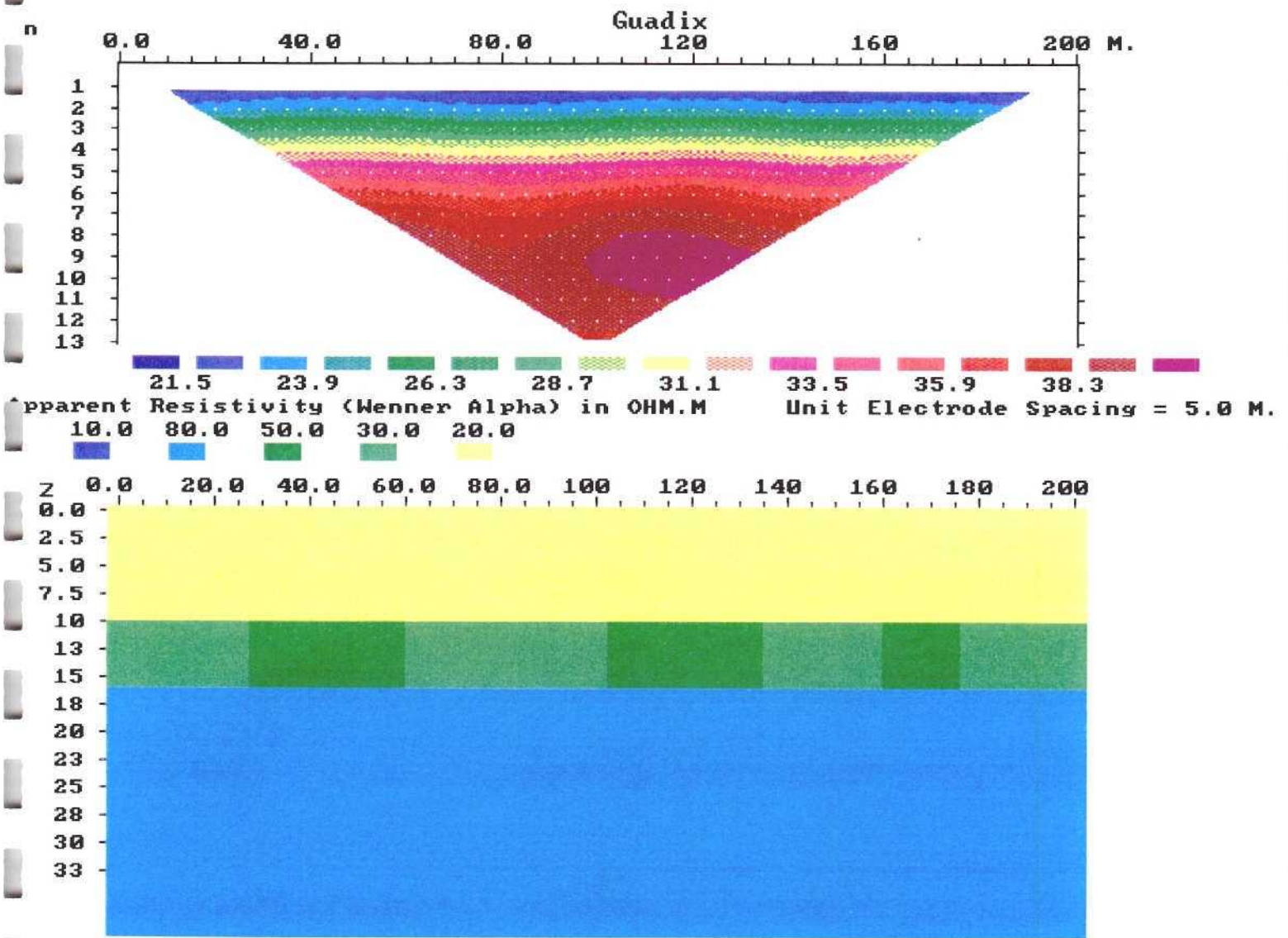
Seudosección de resistividad aparente (parte superior) para el dispositivo Dipolo-Dipolo y separación de electrodos de 15 m, correspondiente al modelo teórico definido (parte inferior).

Figura 6



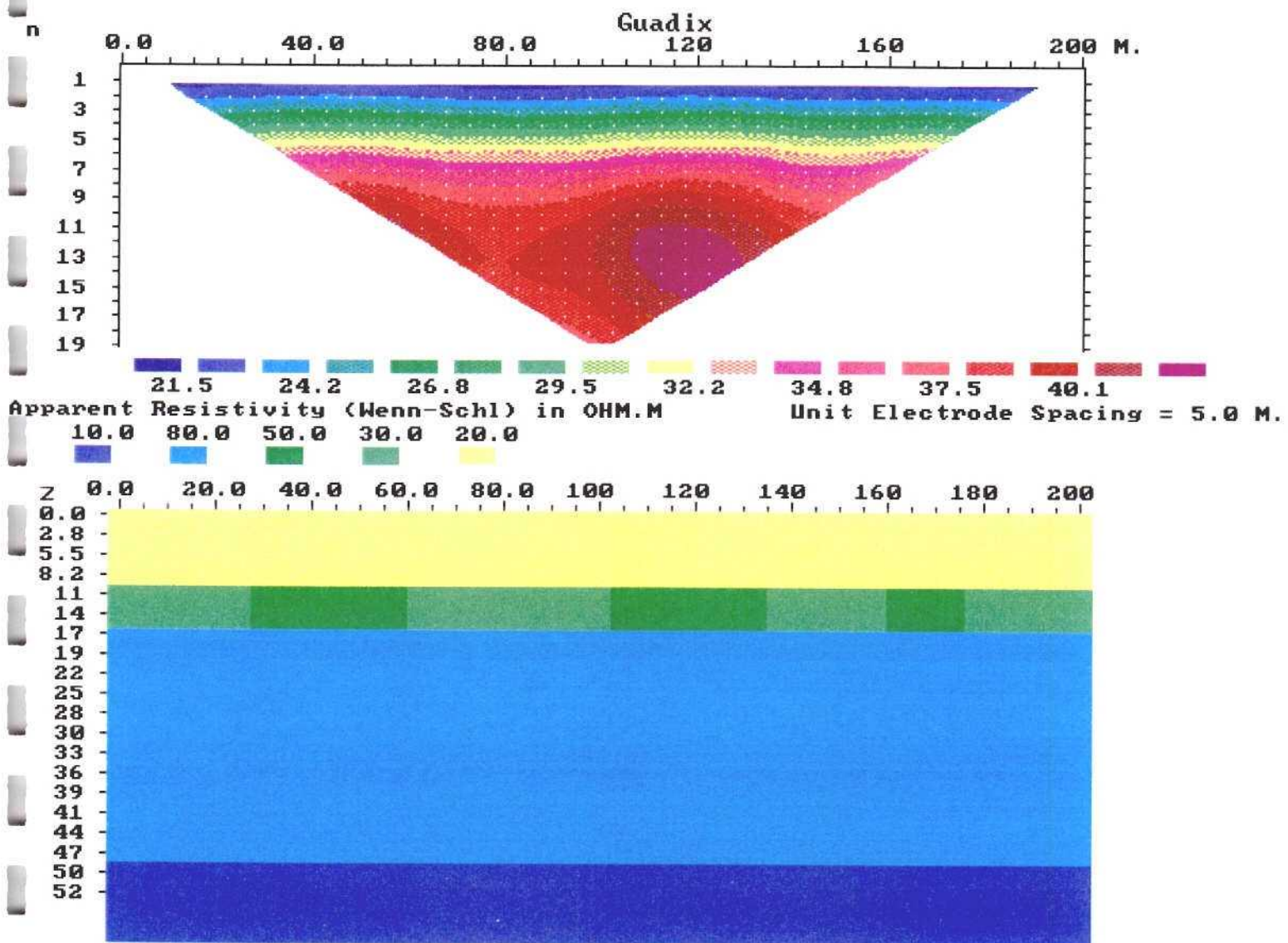
Seudosección de resistividad aparente (parte superior) para el dispositivo Wenner-Schlumberger y separación de electrodos de 15 m, correspondiente al modelo teórico definido (parte inferior).

Figura 7



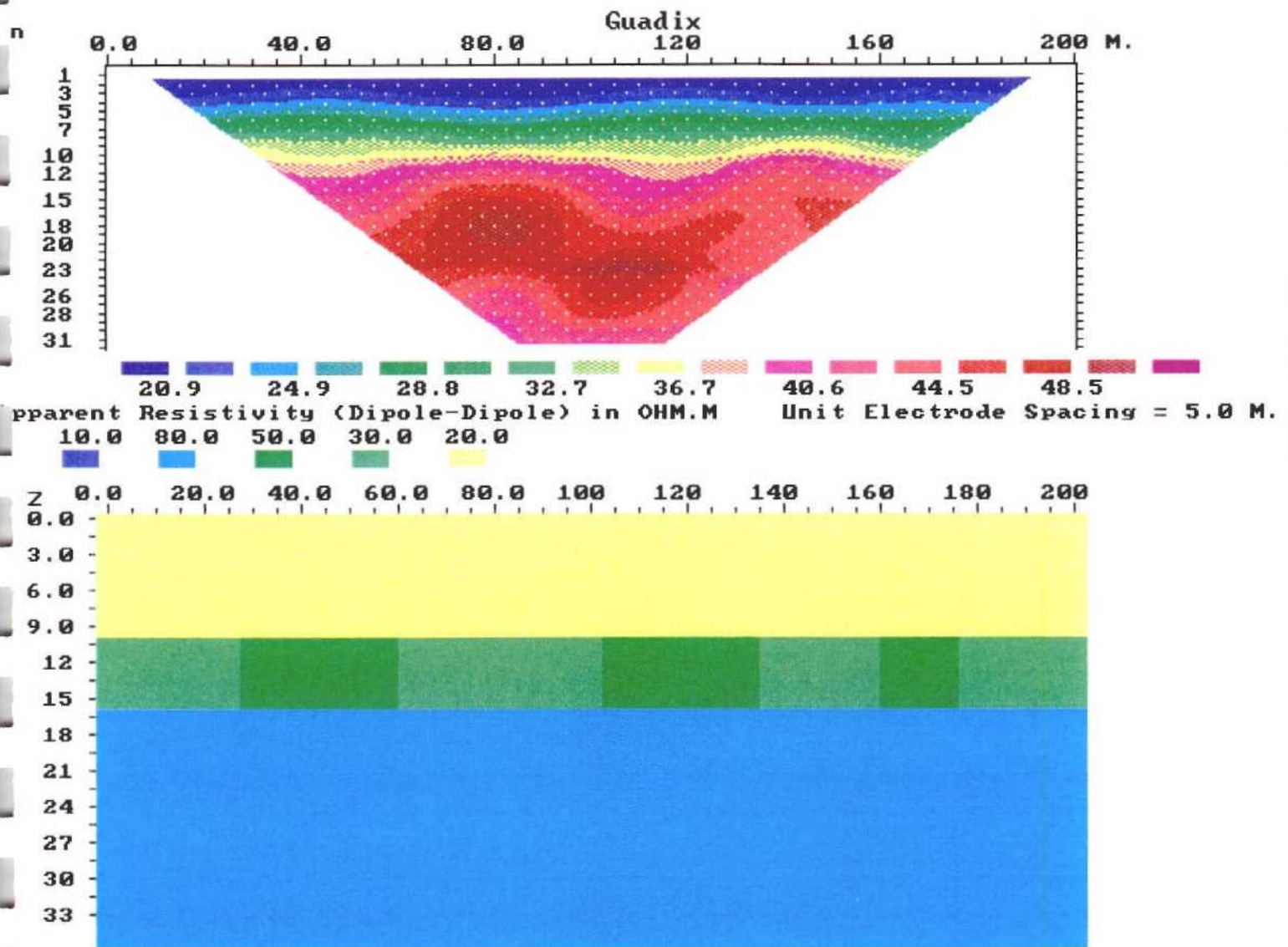
Seudosección de resistividad aparente (parte superior) para el dispositivo Wenner y separación de electrodos de 5 m, correspondiente al modelo teórico definido (parte inferior).

Figura 8



Seudoscción de resistividad aparente (parte superior) para el dispositivo Wenner-Schlumberger y separación de electrodos de 5 m, correspondiente al modelo teórico definido (parte inferior).

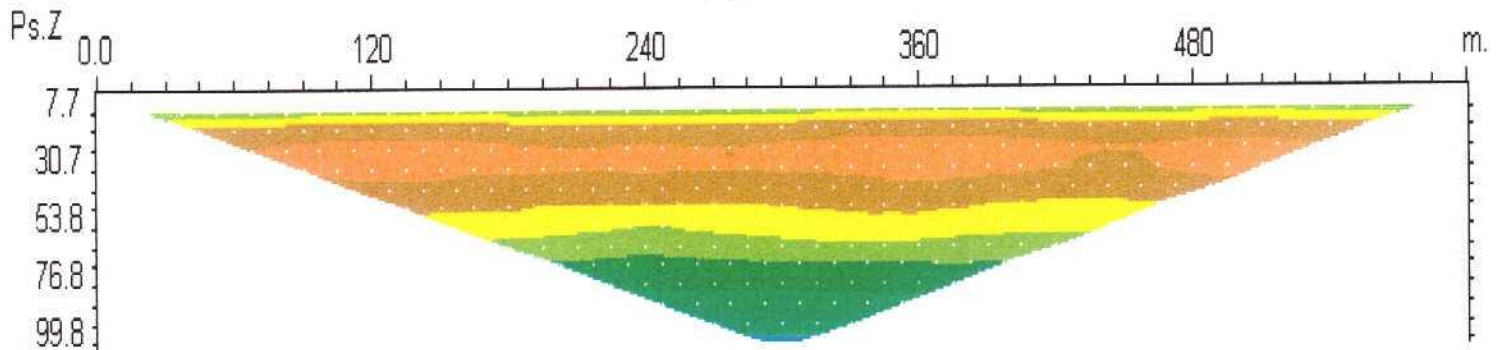
Figura 9



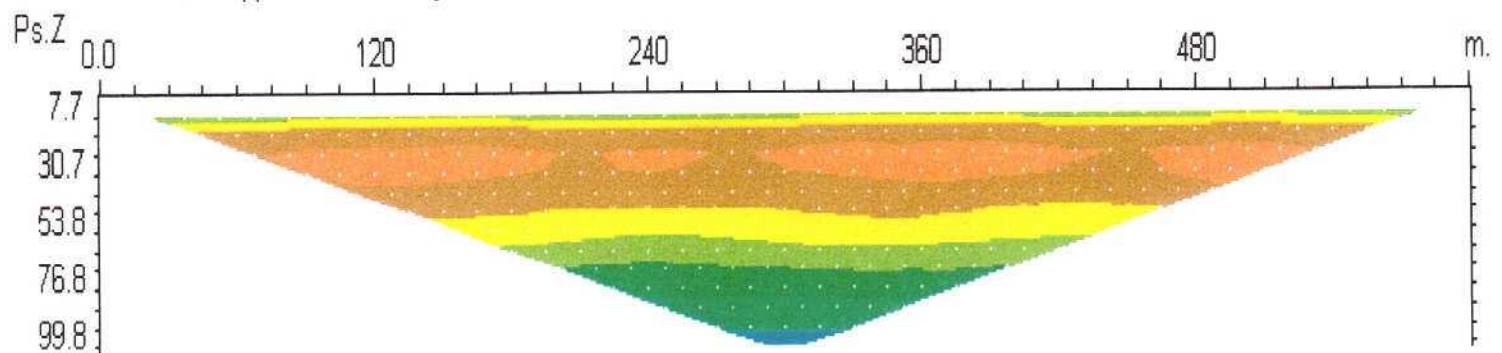
Seudosección de resistividad aparente (parte superior) para el dispositivo Dipolo-Dipolo y separación de electrodos de 5 m, correspondiente al modelo teórico definido (parte inferior).

Figura 10

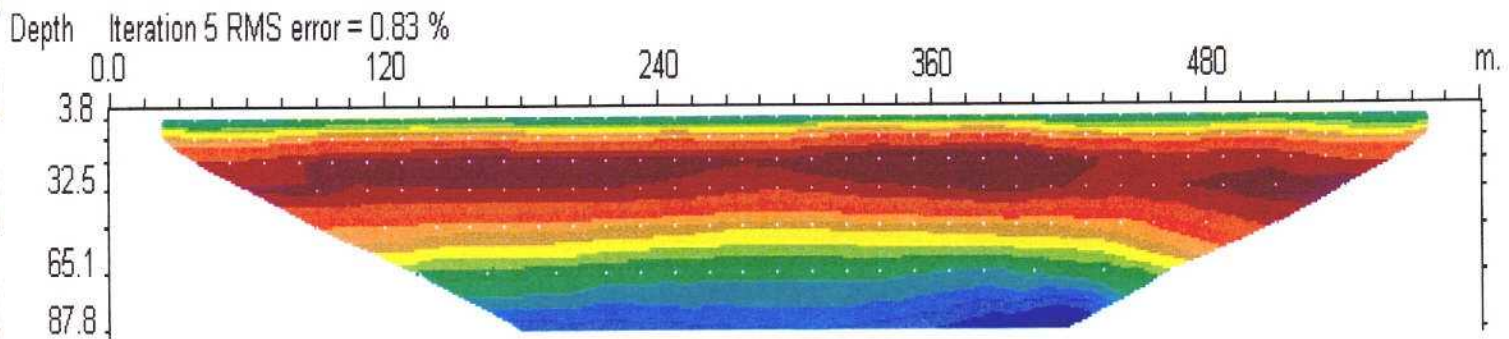
Guadix



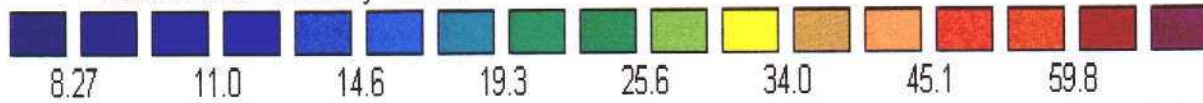
Measured Apparent Resistivity Pseudosection



Calculated Apparent Resistivity Pseudosection



Inverse Model Resistivity Section



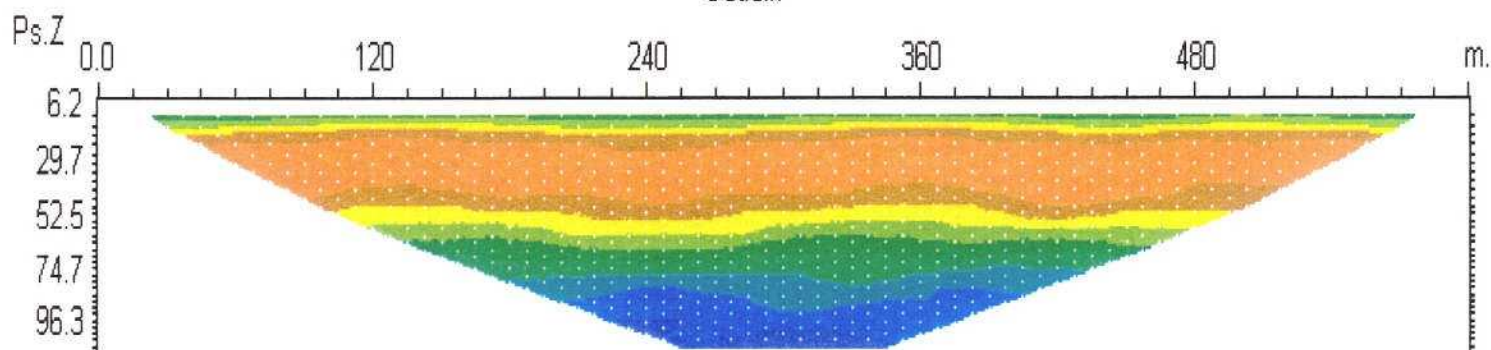
Resistivity in ohm.m

Unit electrode spacing 15.0 m.

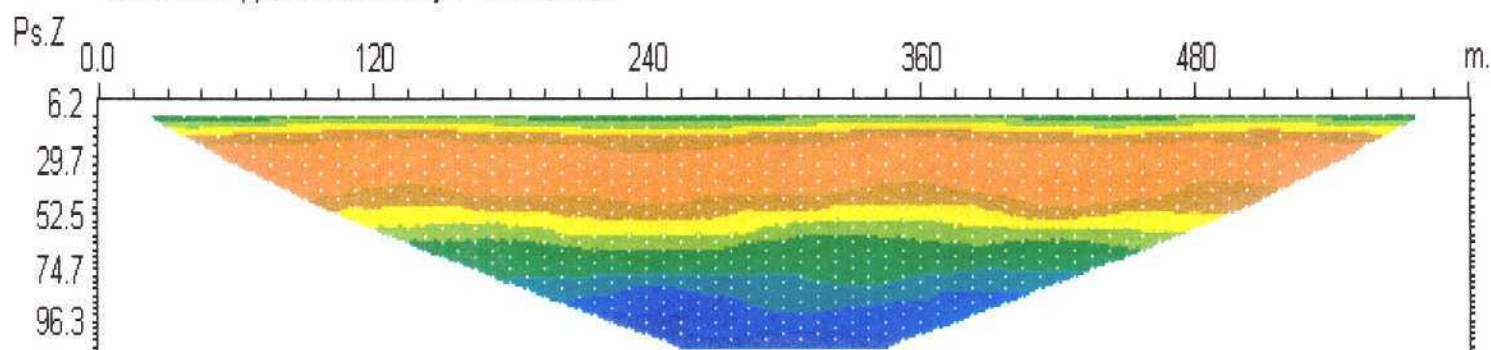
Sección de resistividad verdadera obtenida mediante la inversión de la pseudosección de resistividad aparente para el dispositivo Wenner y separación de electrodos de 15 m, correspondiente al modelo teórico definido.

Figura 11

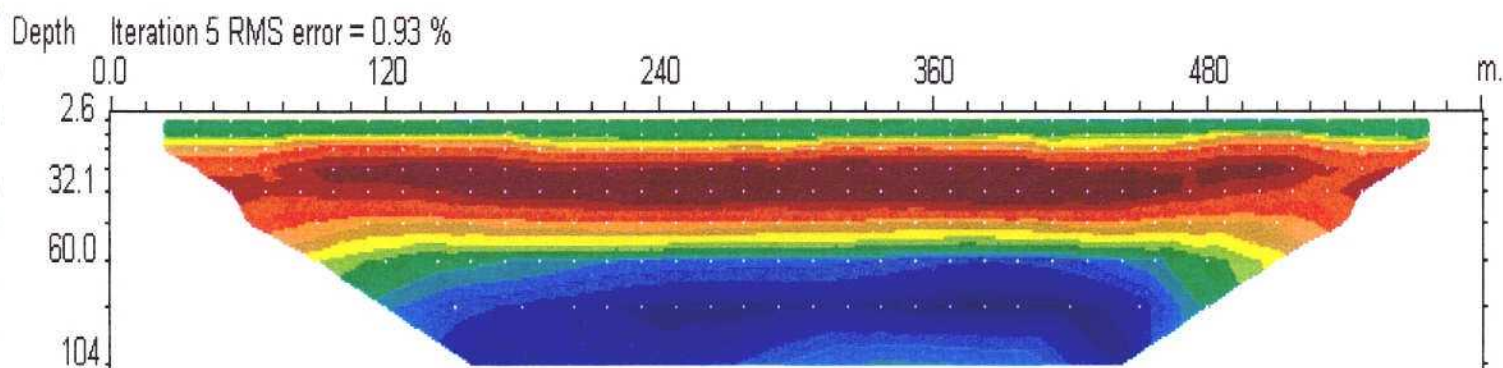
Guadix



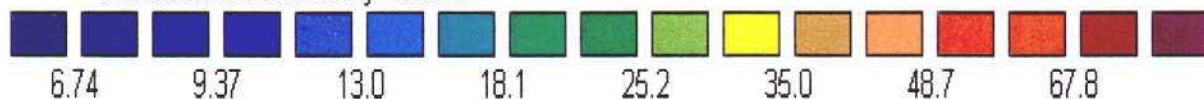
Measured Apparent Resistivity Pseudosection



Calculated Apparent Resistivity Pseudosection



Inverse Model Resistivity Section



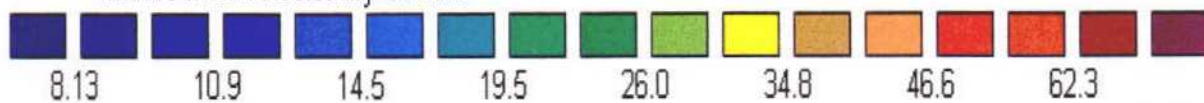
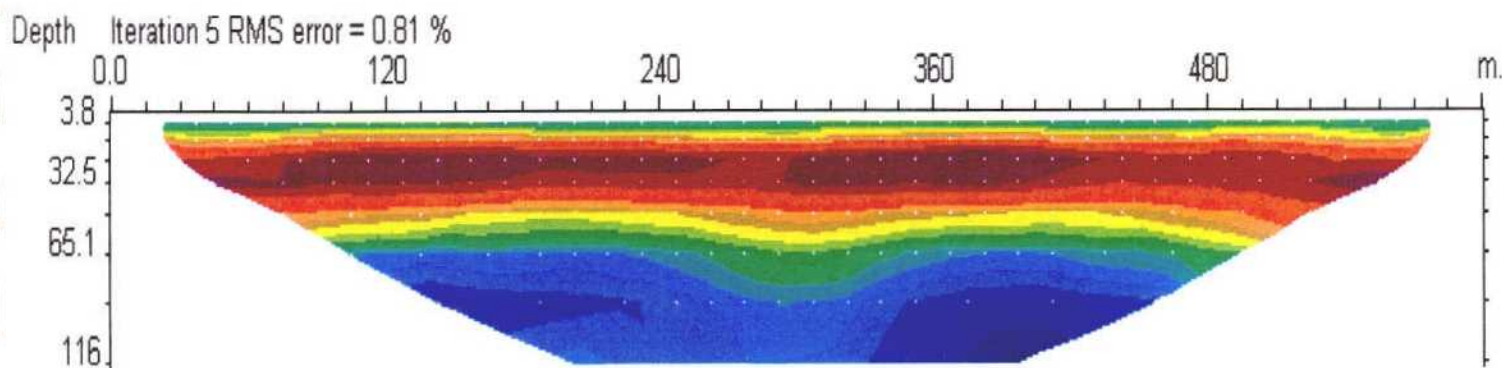
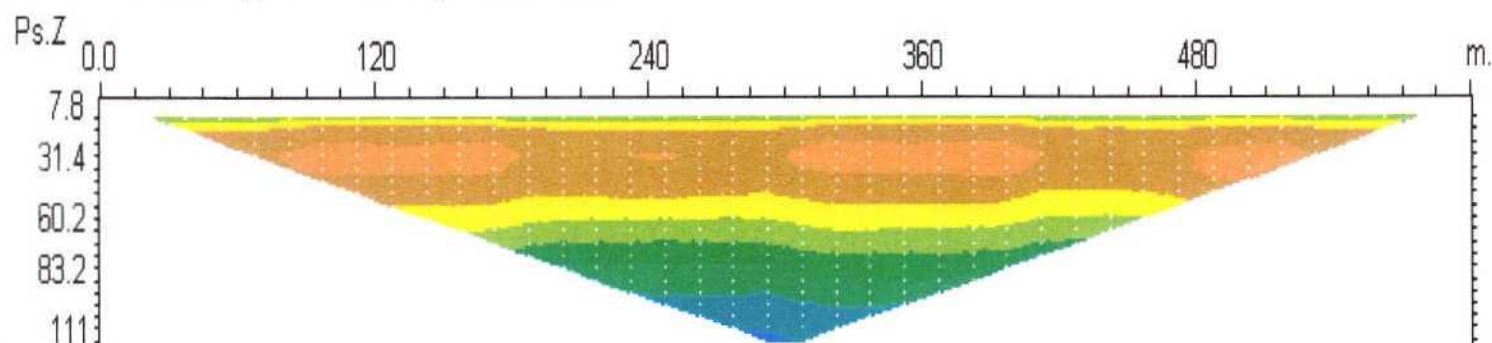
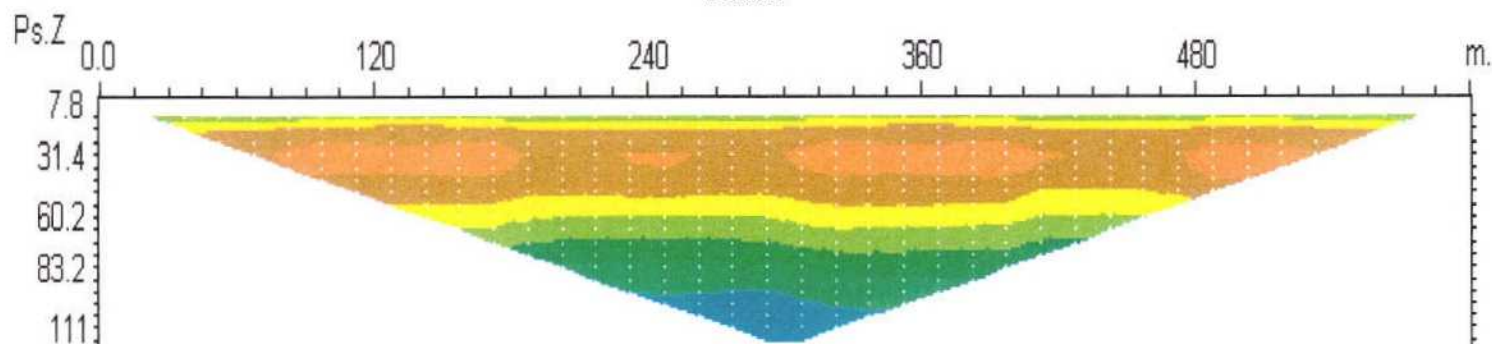
Resistivity in ohm.m

Unit electrode spacing 15.0 m.

Sección de resistividad verdadera obtenida mediante la inversión de la pseudosección de resistividad aparente para el dispositivo Dipolo-Dipolo y separación de electrodos de 15 m, correspondiente al modelo teórico definido.

Figura 12

Guadix

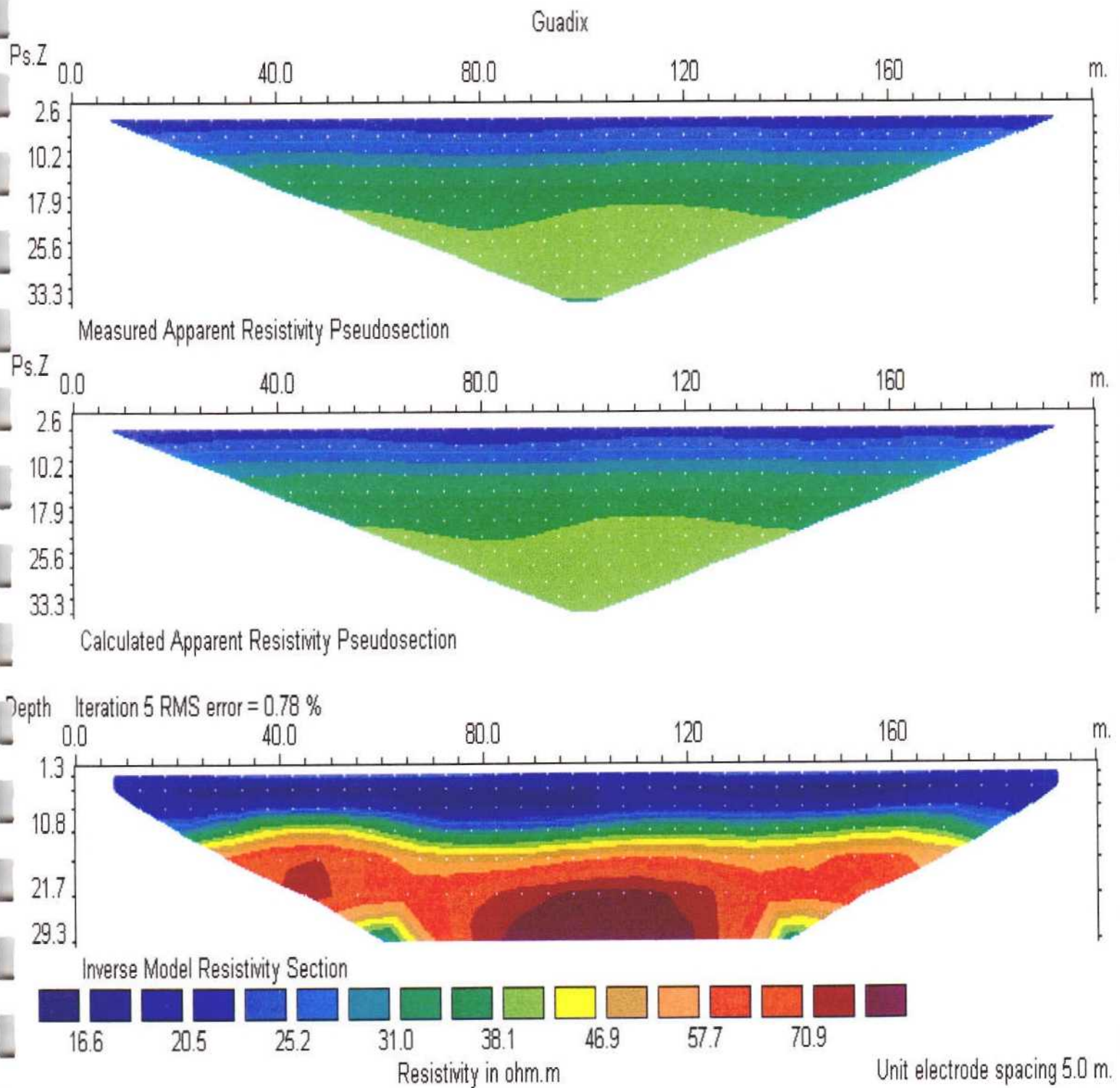


Resistivity in ohm.m

Unit electrode spacing 15.0 m.

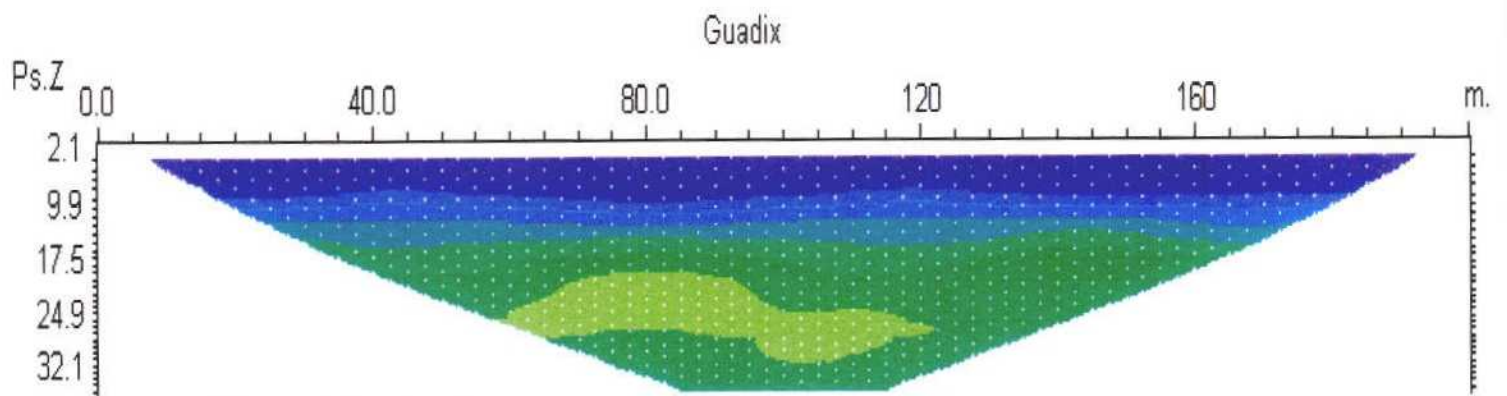
Sección de resistividad verdadera obtenida mediante la inversión de la pseudosección de resistividad aparente para el dispositivo Wenner-Schlumberger y separación de electrodos de 15 m, correspondiente al modelo teórico definido.

Figura 13

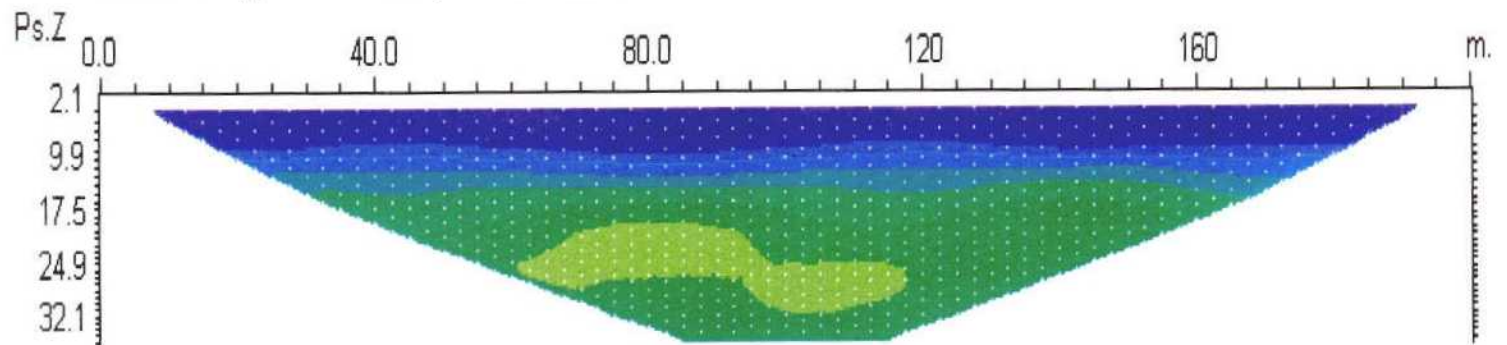


Sección de resistividad verdadera obtenida mediante la inversión de la pseudosección de resistividad aparente para el dispositivo Wenner y separación de electrodos de 5 m, correspondiente al modelo teórico definido.

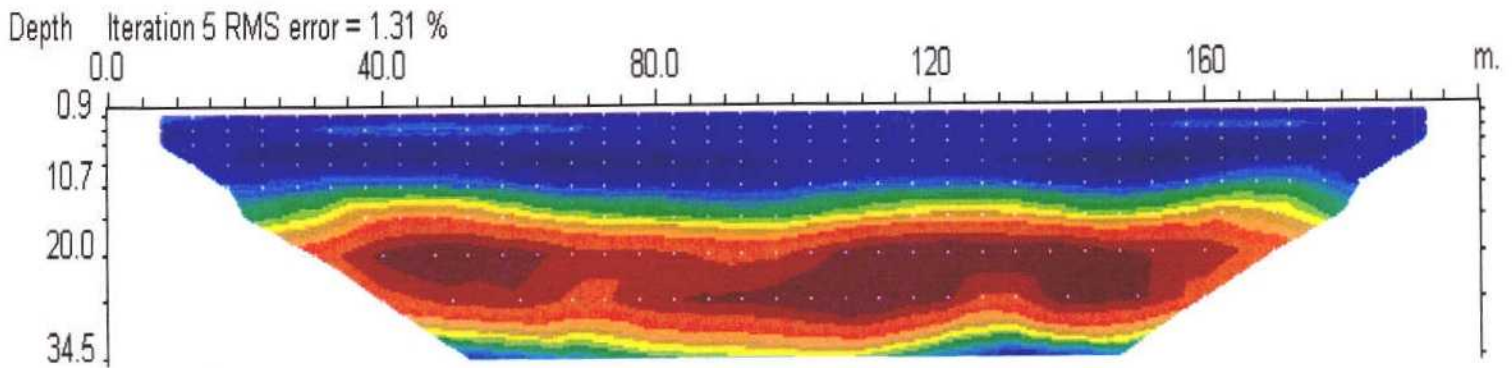
Figura 14



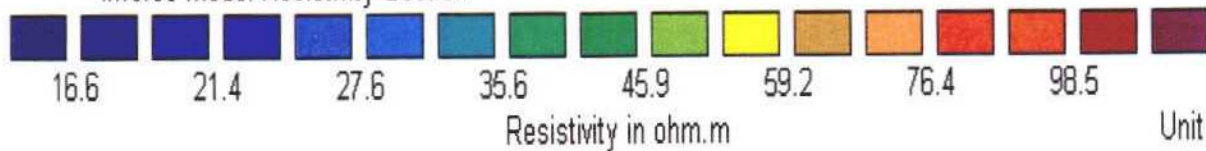
Measured Apparent Resistivity Pseudosection



Calculated Apparent Resistivity Pseudosection



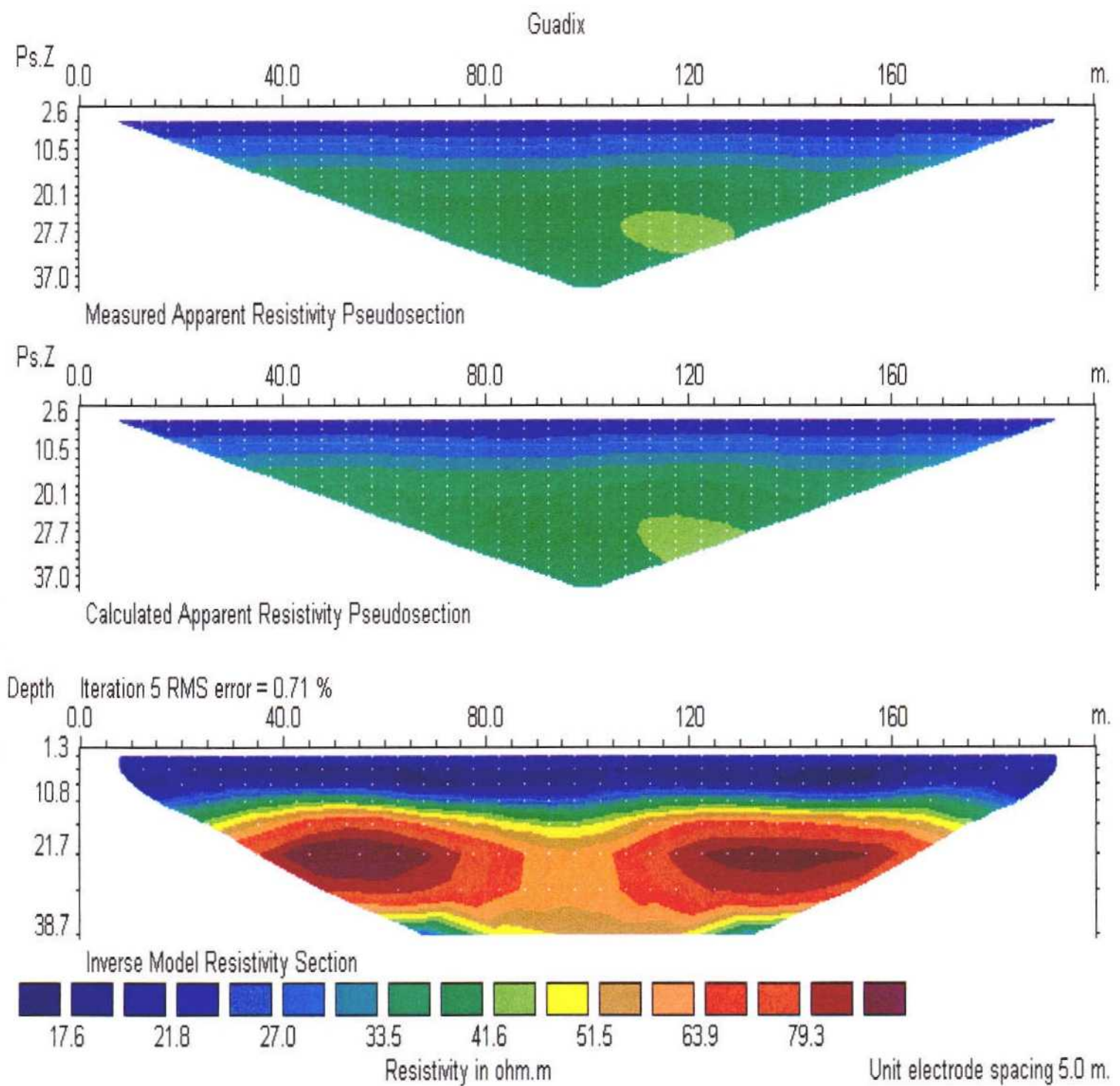
Inverse Model Resistivity Section



Unit electrode spacing 5.0 m.

Sección de resistividad verdadera obtenida mediante la inversión de la pseudosección de resistividad aparente para el dispositivo Dipolo-Dipolo y separación de electrodos de 5 m, correspondiente al modelo teórico definido.

Figura 15



Sección de resistividad verdadera obtenida mediante la inversión de la pseudosección de resistividad aparente para el dispositivo Wenner-Schlumberger y separación de electrodos de 5 m, correspondiente al modelo teórico definido.

Figura 16

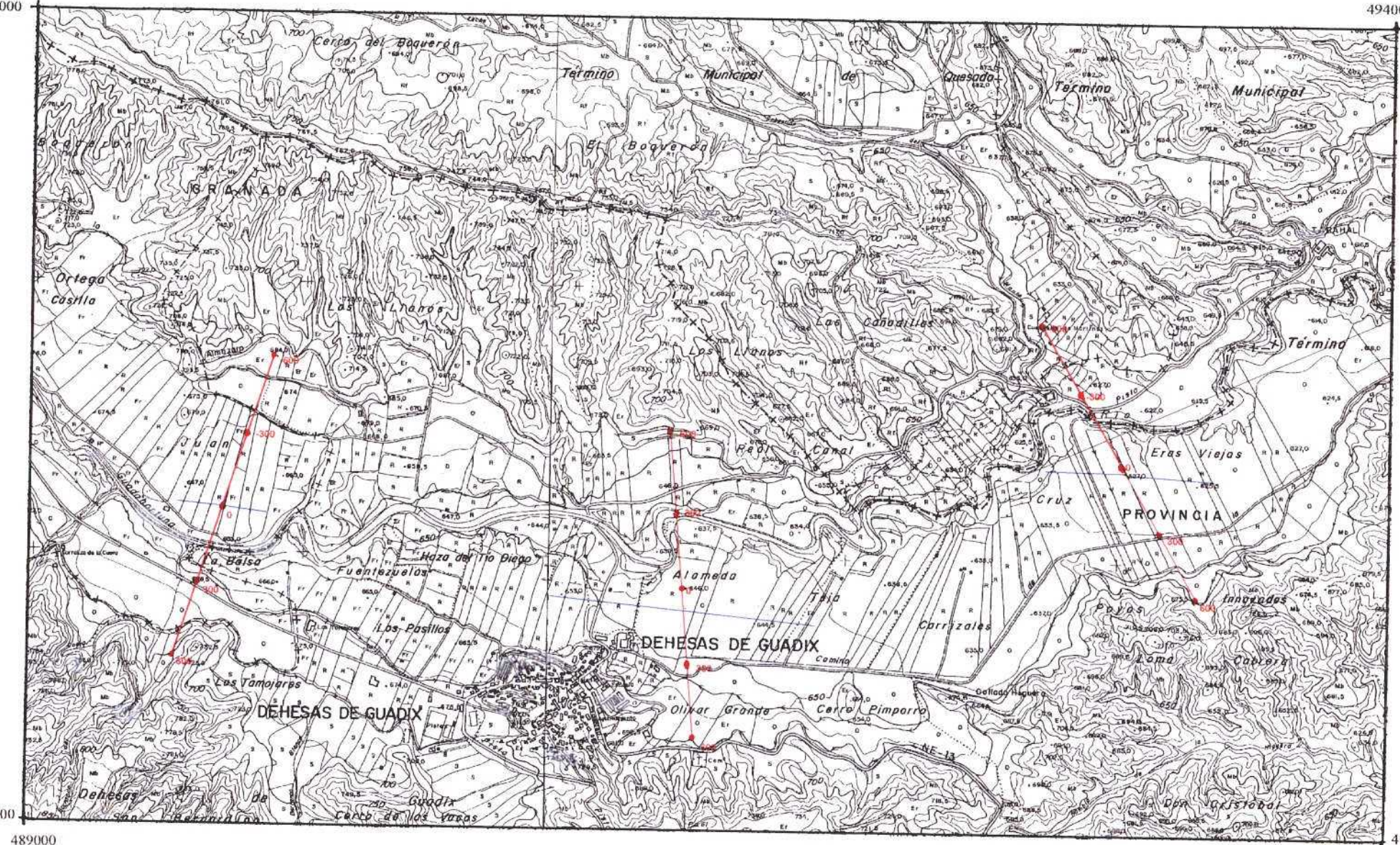
4163000

494000

4163000

4160000

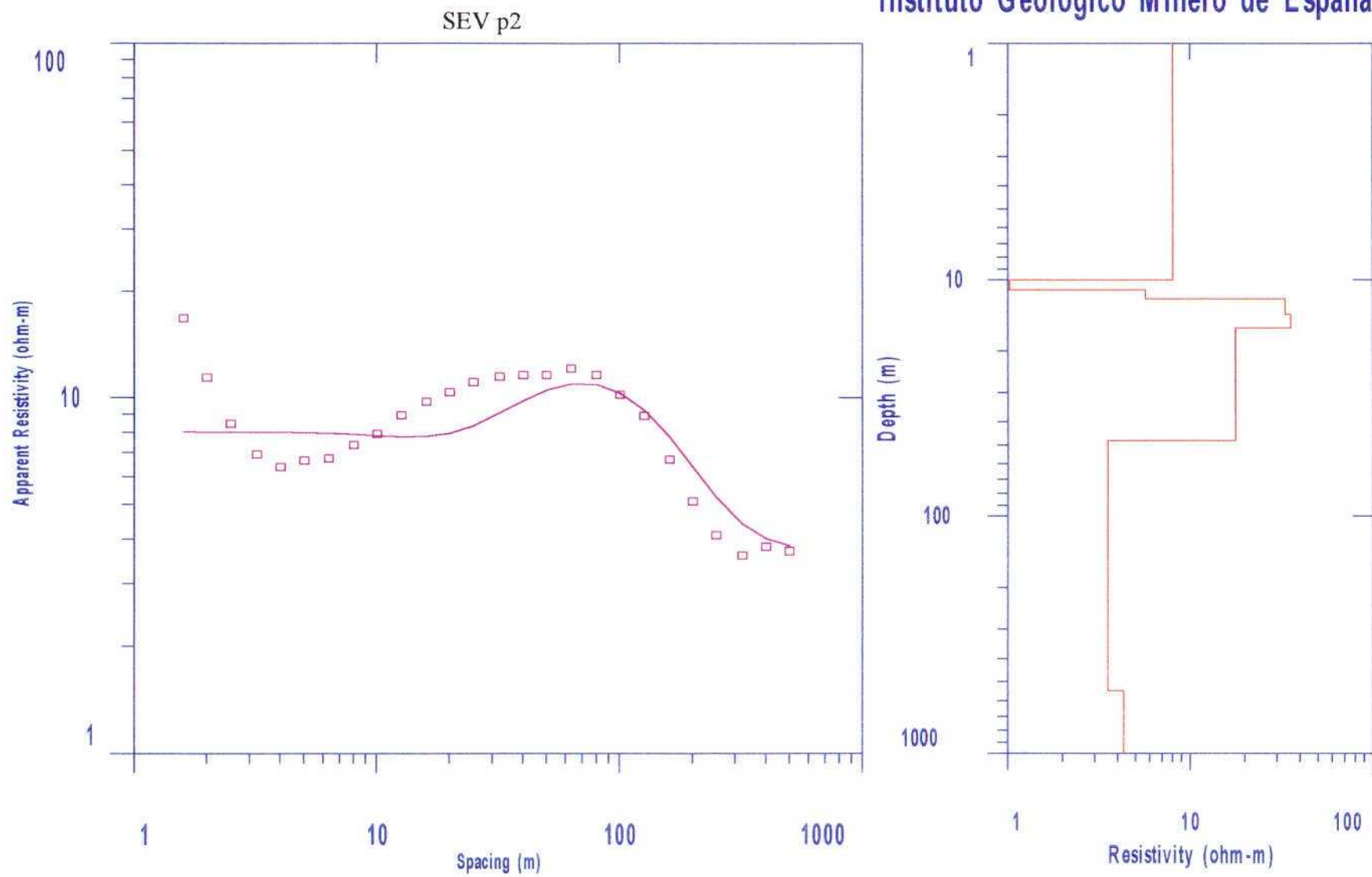
4160000



● 600 ● 0 ● 600
 A ——— B
 SEV

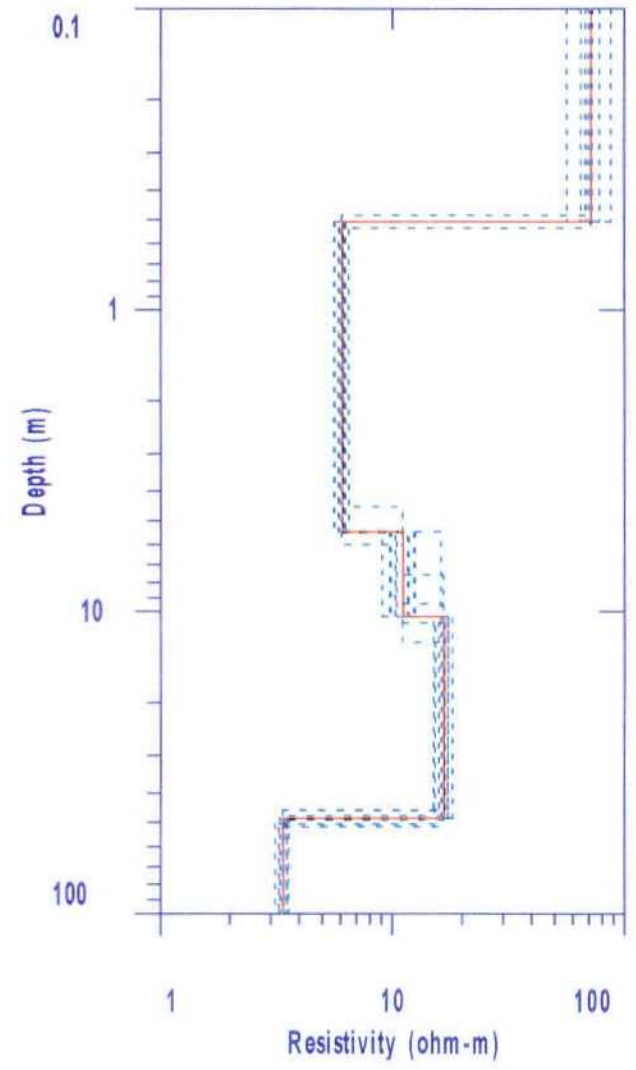
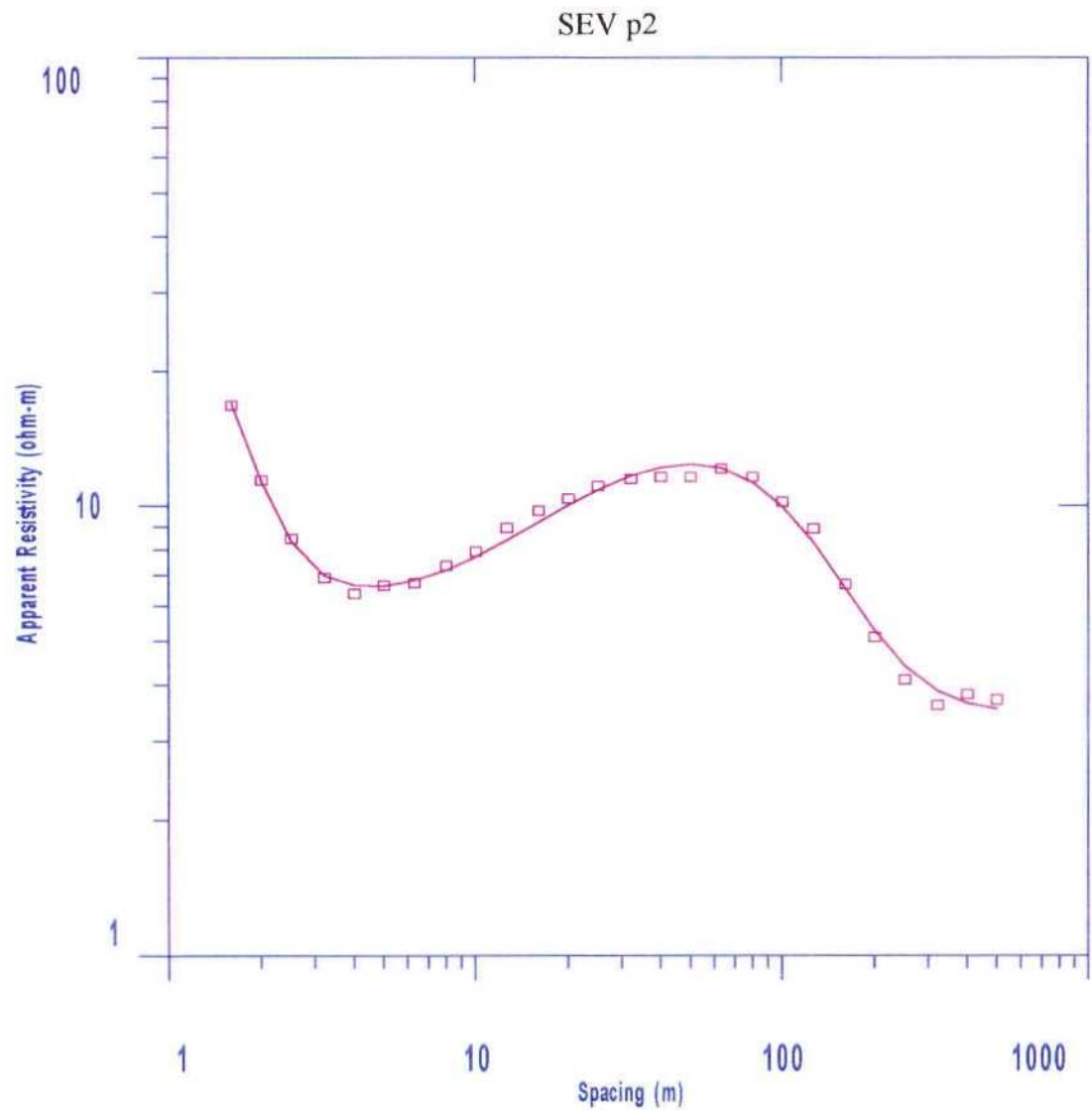
Situación de los trabajos realizados

Figura 17



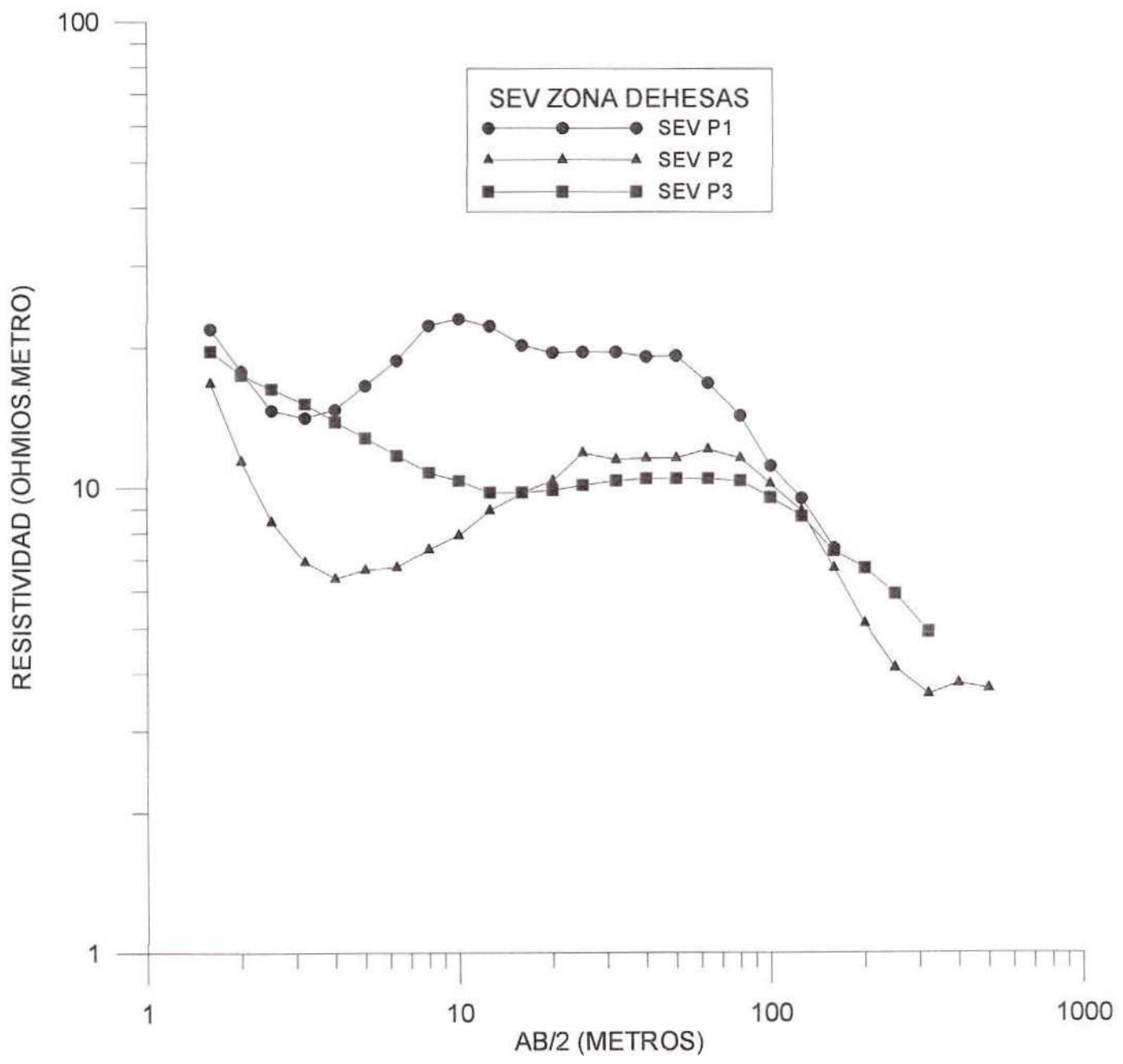
Interpretación del SEV p2 con modelo inicial según la columna geológica conocida.

Figura 18



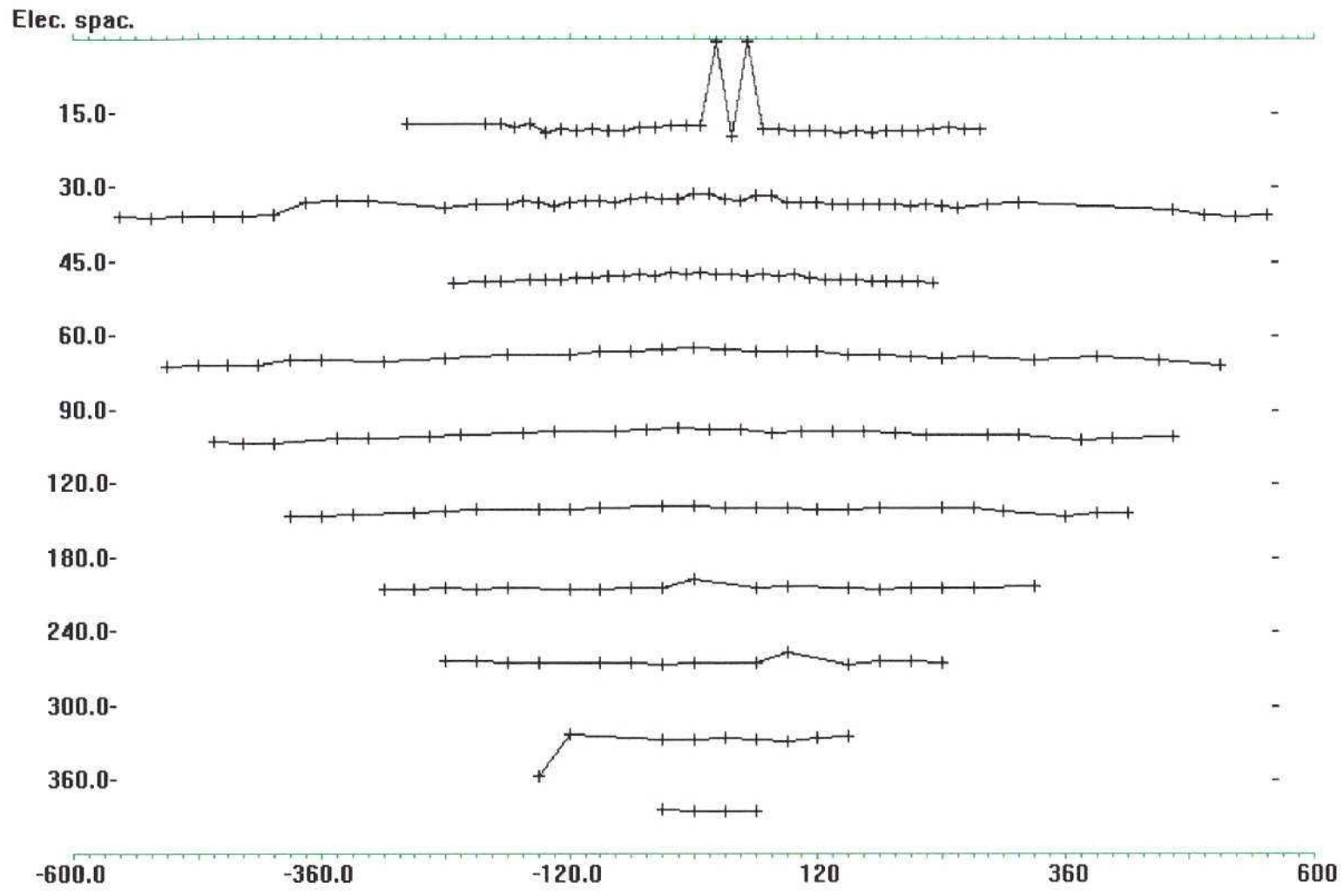
Interpretación final del SEV p2

Figura 19



Comparación de las tres curvas de SEV

Figura 20



Distribución por niveles de los puntos medidos con el dispositivo Wenner en el emplazamiento 2

Figura 21

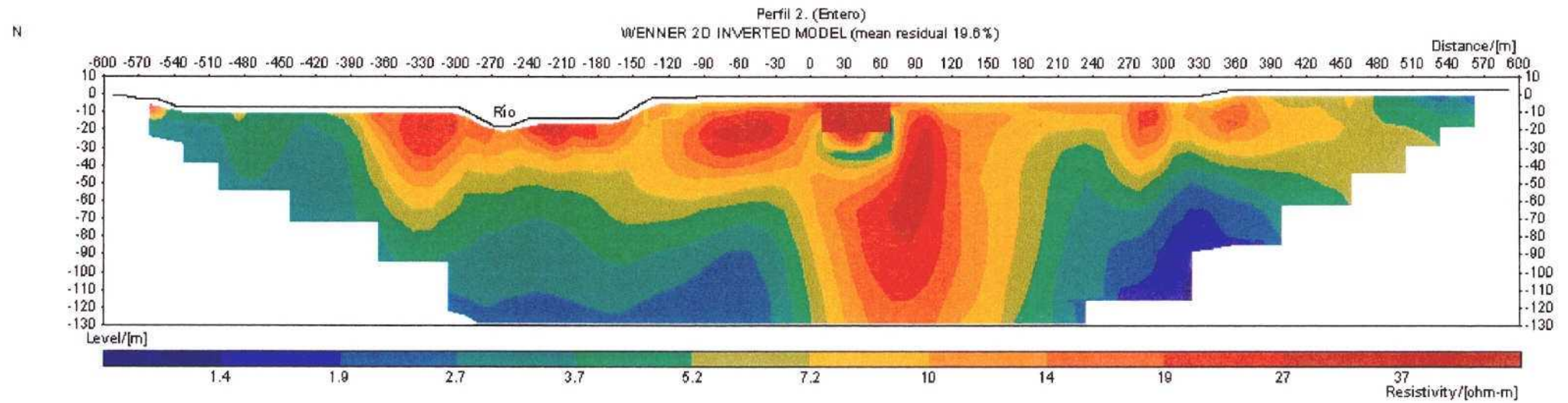
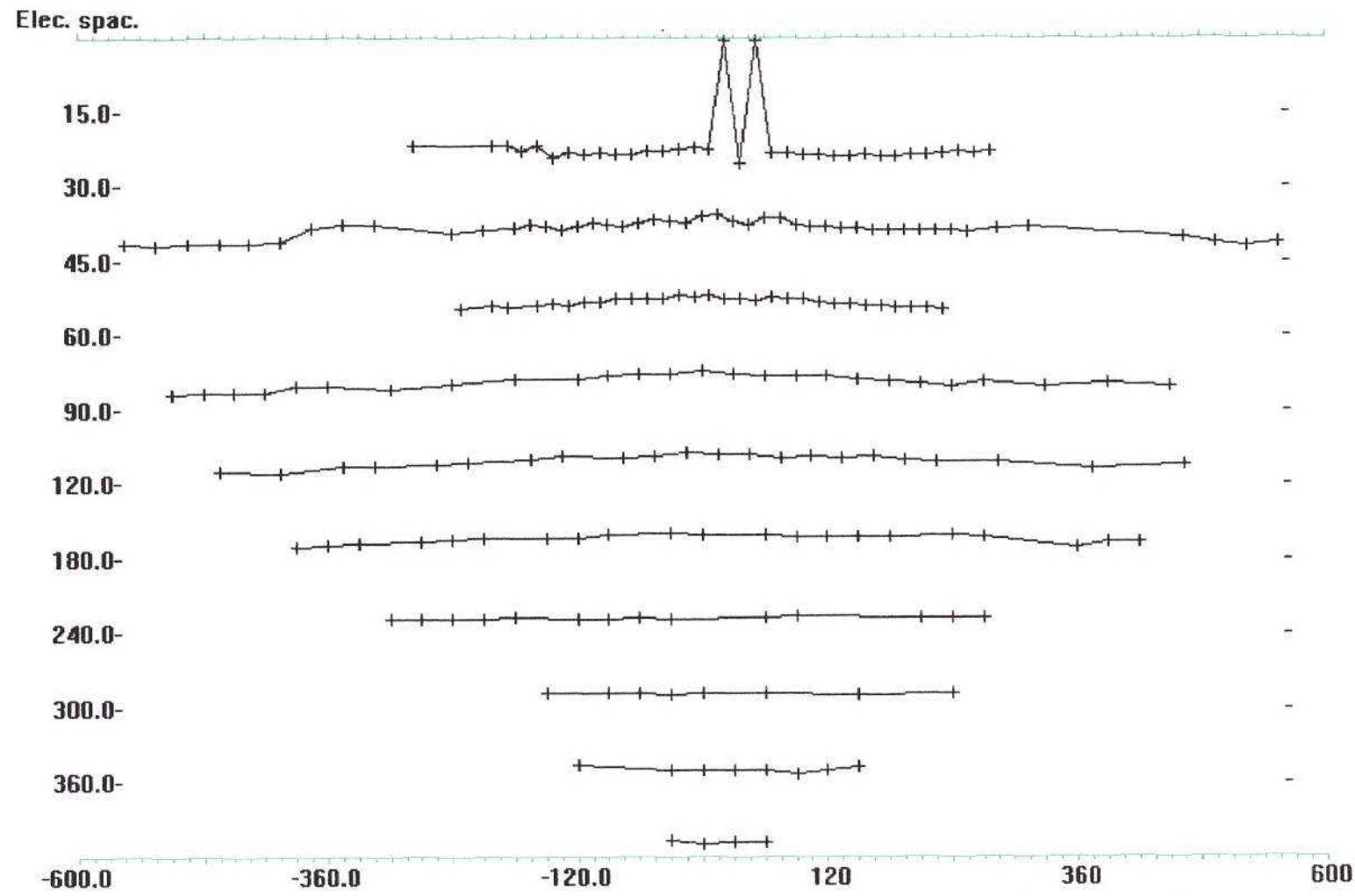


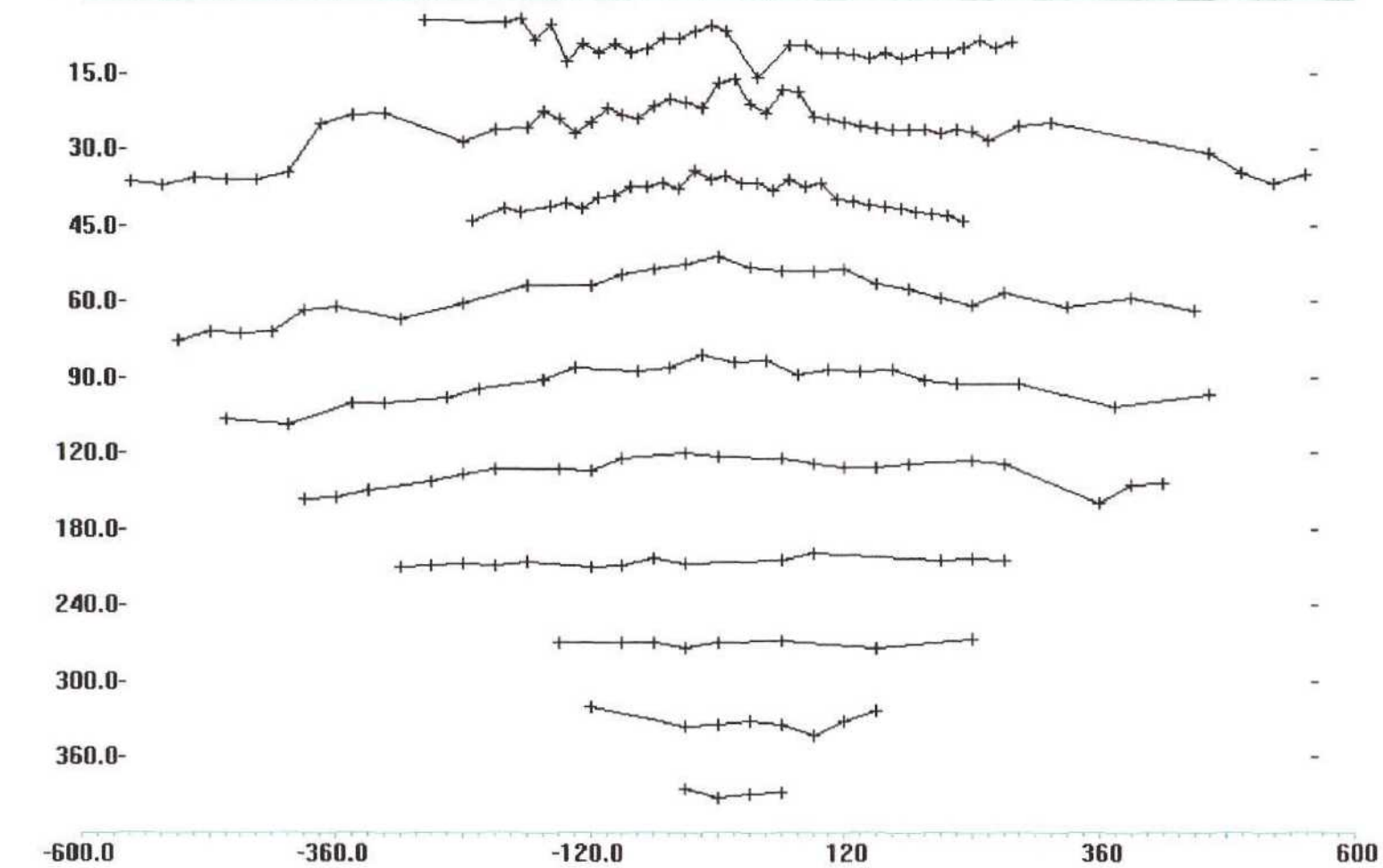
Figura 22



Distribución por niveles de los puntos con errores de medida menores del 2% para el dispositivo Wenner en el emplazamiento 2.

Figura 23

Elec. spac.



+ Measured data - Removed data

Distribución por niveles de los puntos con errores de medida menores del 2% y eliminados los picos de resistividad para el dispositivo Wenner en el emplazamiento 2.

Figura 24

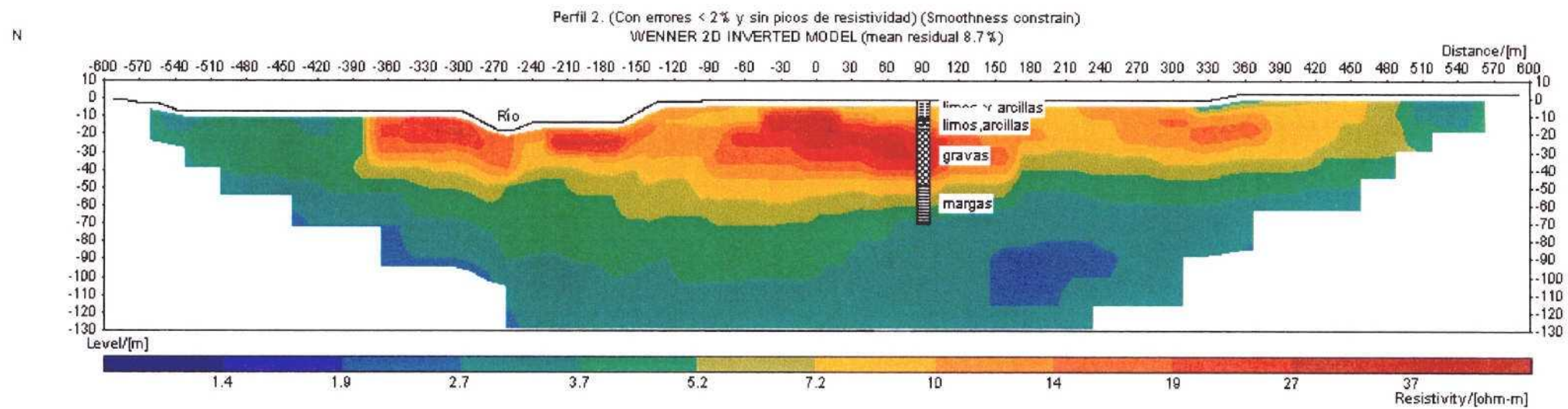


Figura 25

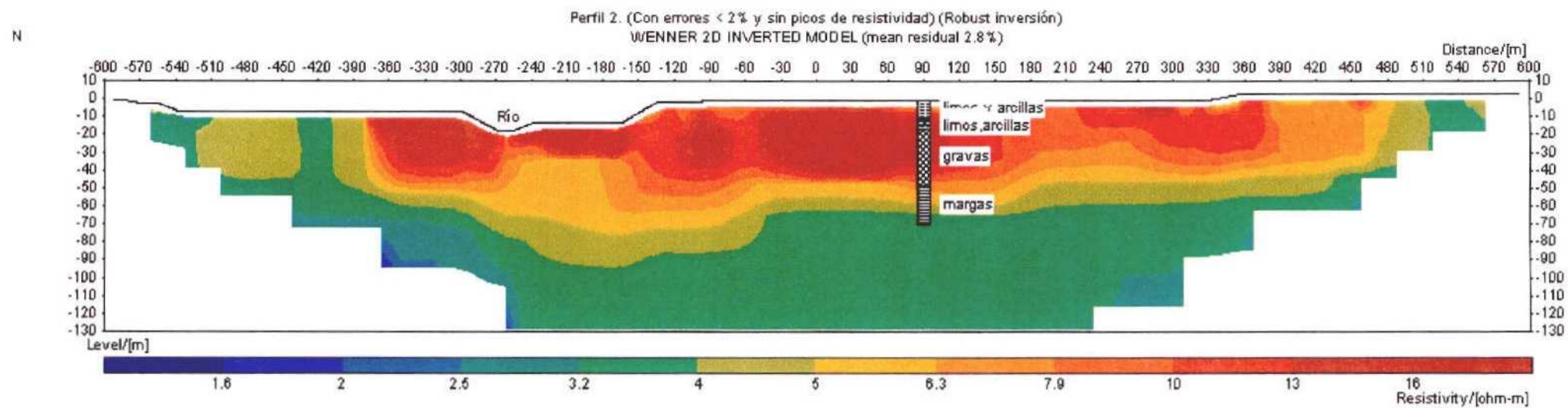
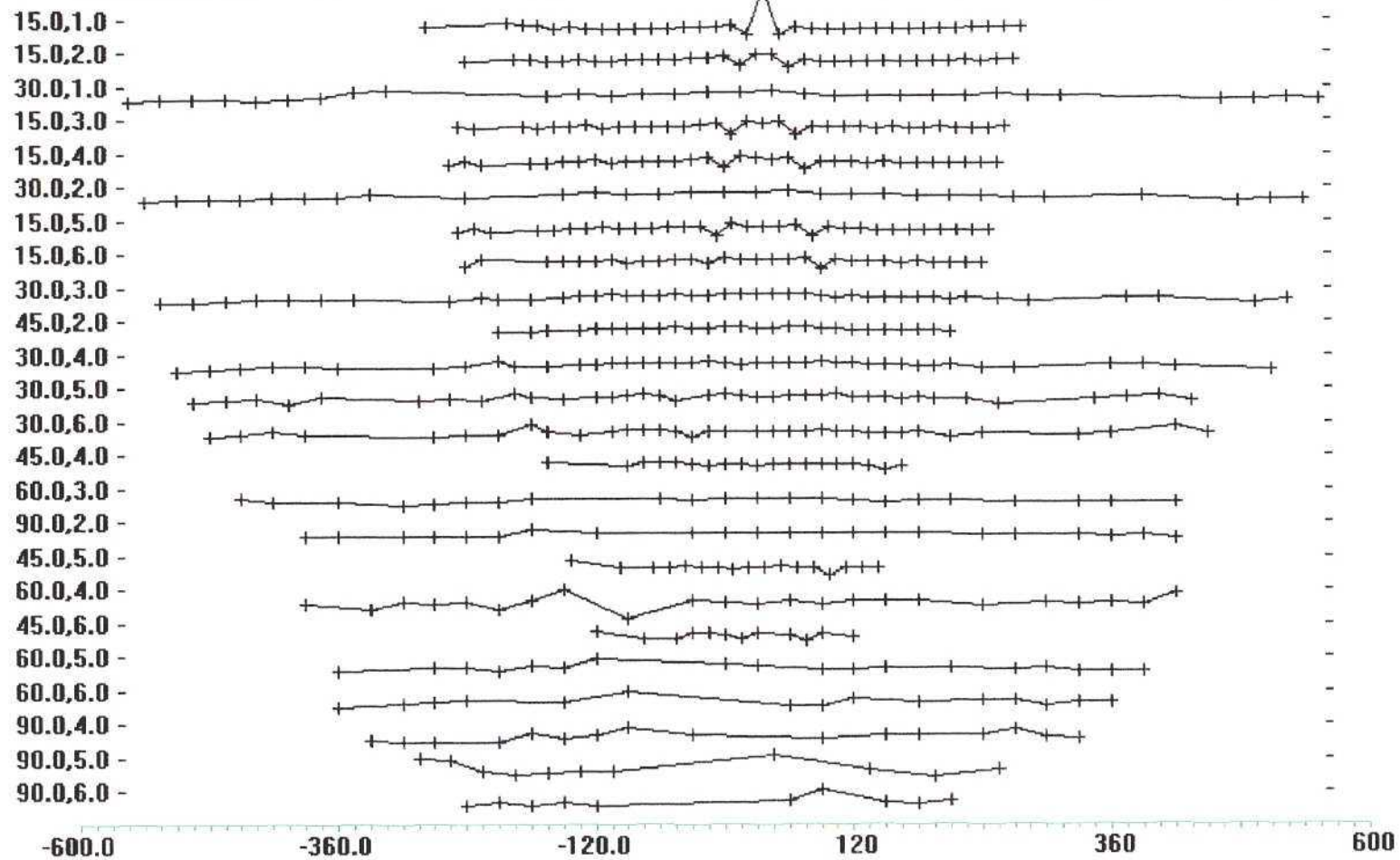


Figura 26

Elec. spac.,dipole length



+ Measured data + Removed data

Distribución por niveles de los puntos medidos con el dispositivo Dipolo-Dipolo en el emplazamiento 2.

Figura 27

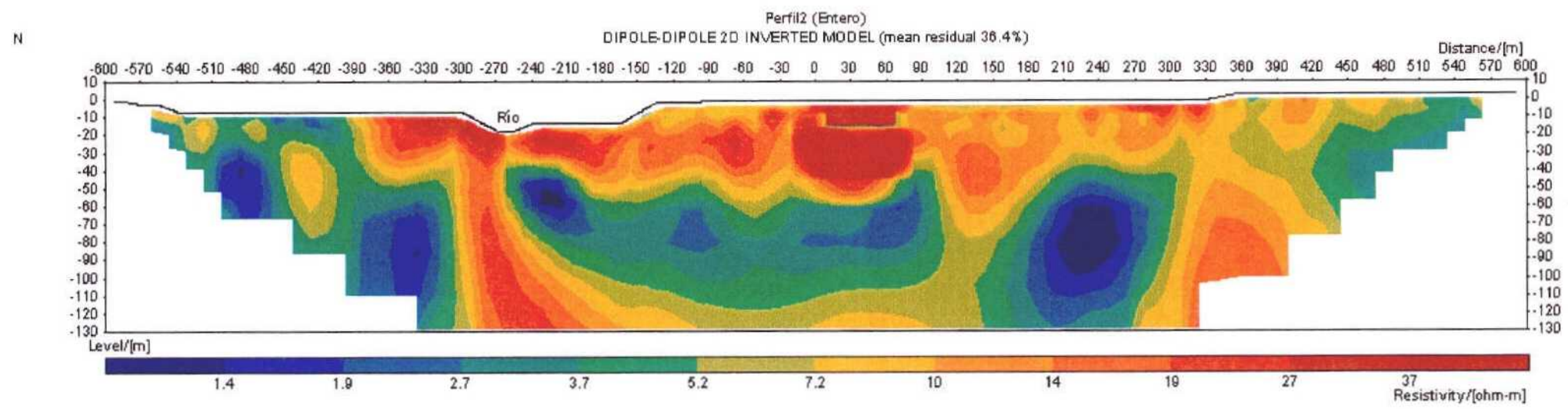
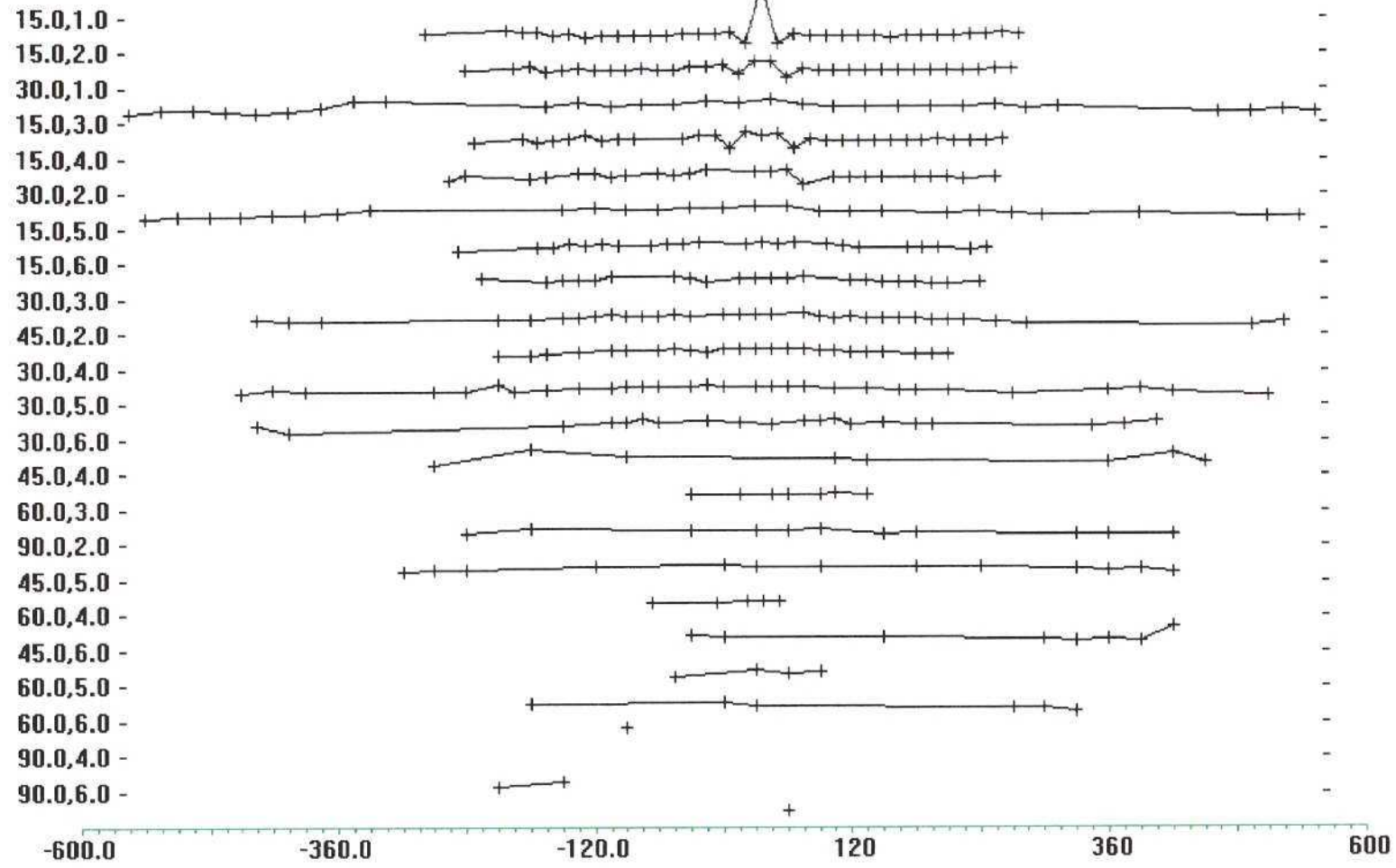


Figura 28

Elec. spac.,dipole length

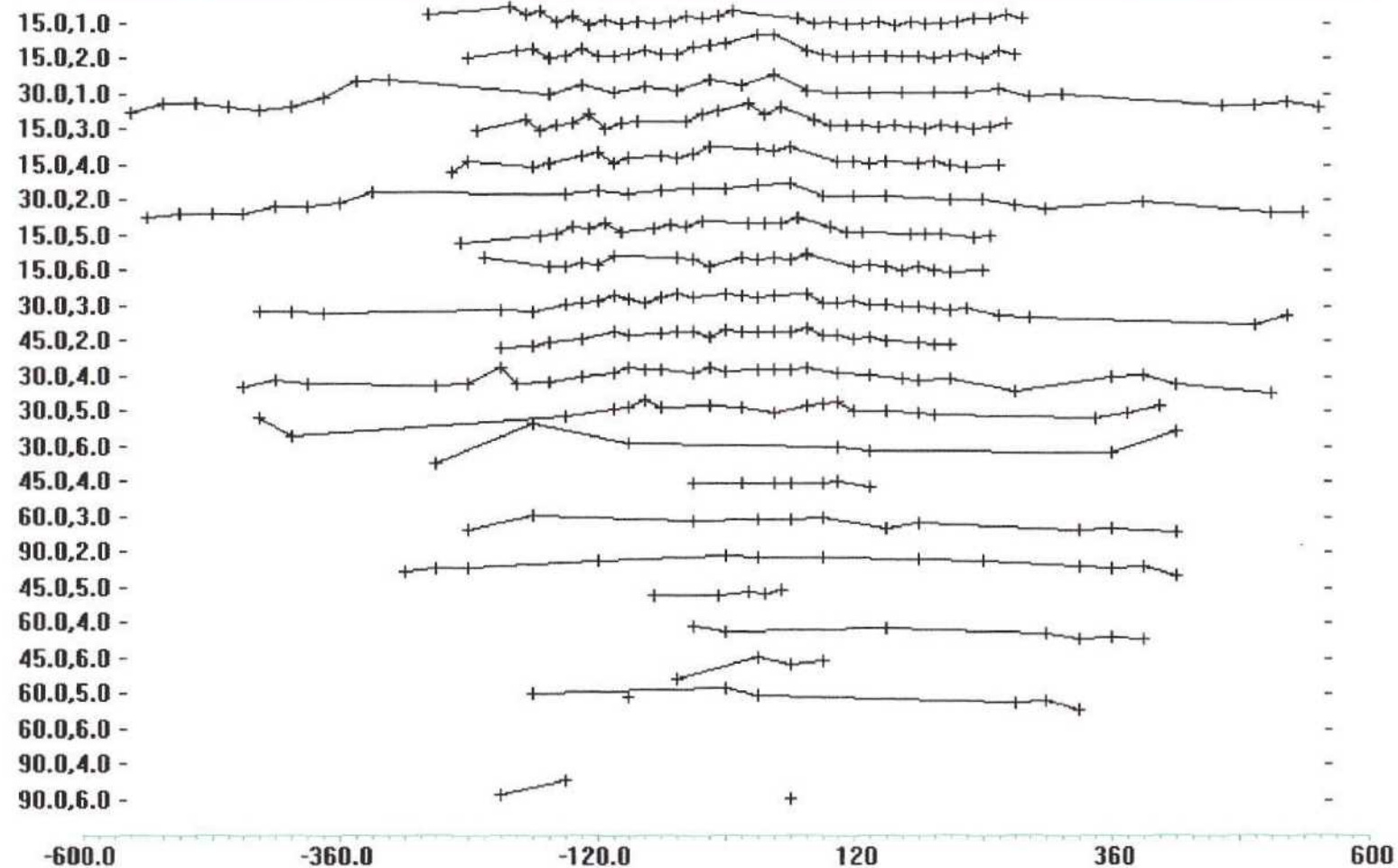


+ Measured data - Removed data

Distribución por niveles de los puntos con errores de medida menores del 2% para el dispositivo Dipolo-Dipolo en el emplazamiento 2.

Figura 29

Elec. spac.,dipole length



+ Measured data + Removed data

Distribución por niveles de los puntos con errores de medida menores del 2% y eliminados los picos de resistividad para el dispositivo Dipolo-Dipolo en el emplazamiento 2.

Figura 30

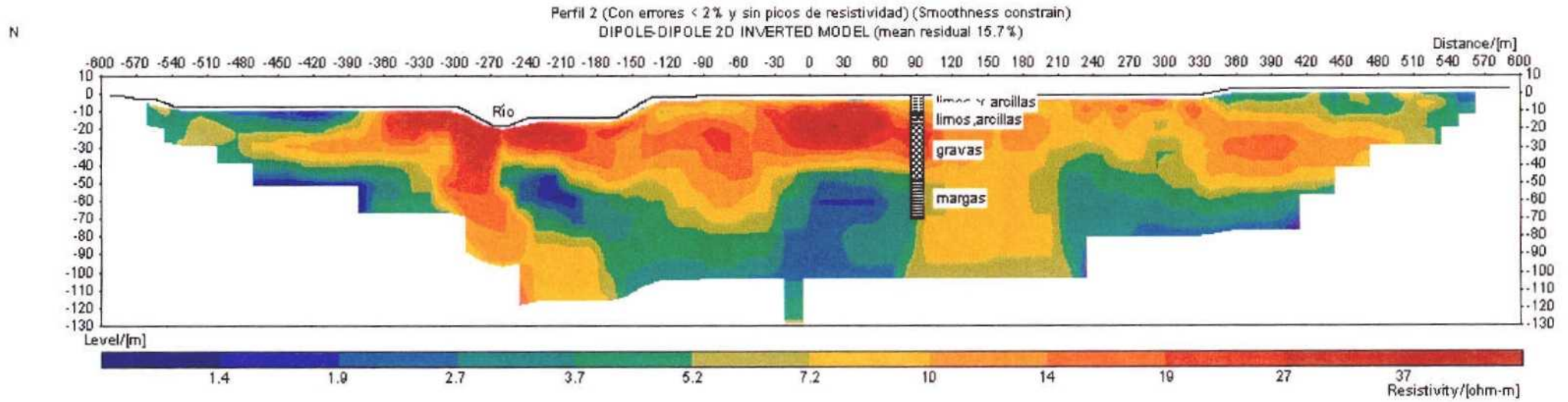


Figura 31

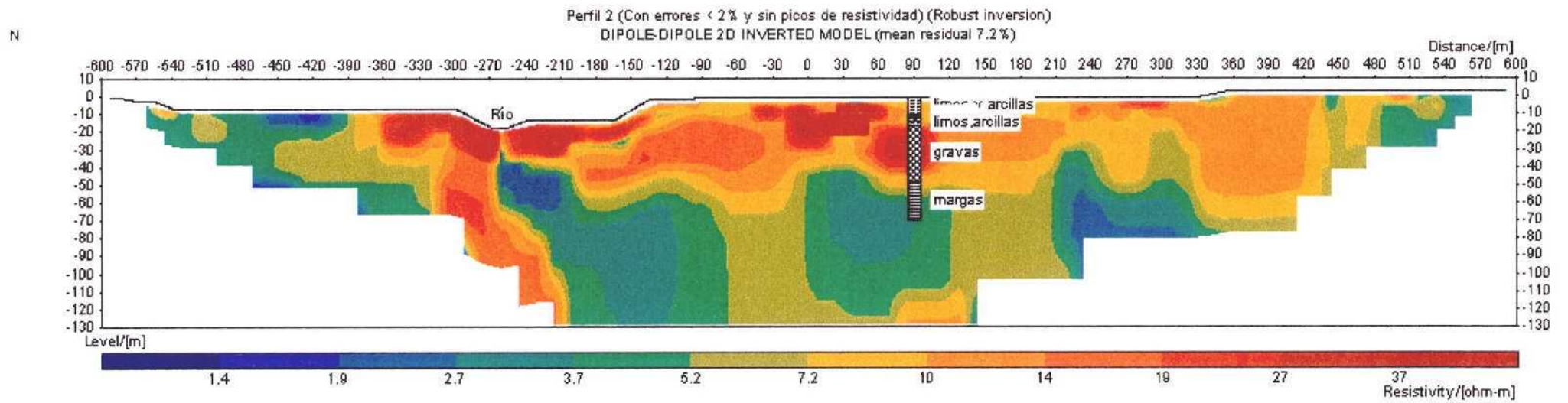
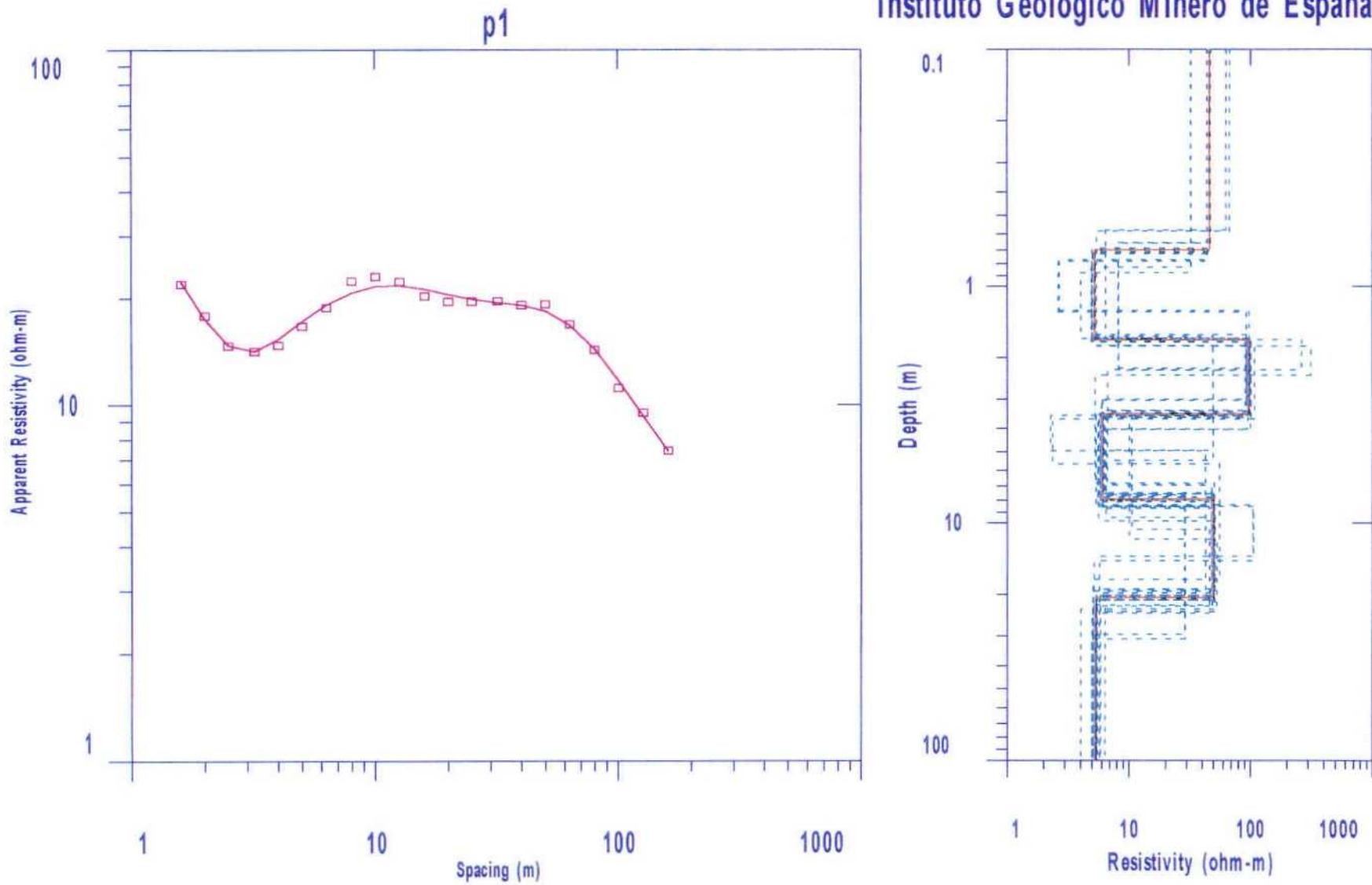


Figura 32



Interpretación del SEV p1 con modelo inicial la interpretación del SEV p2.

Figura 33

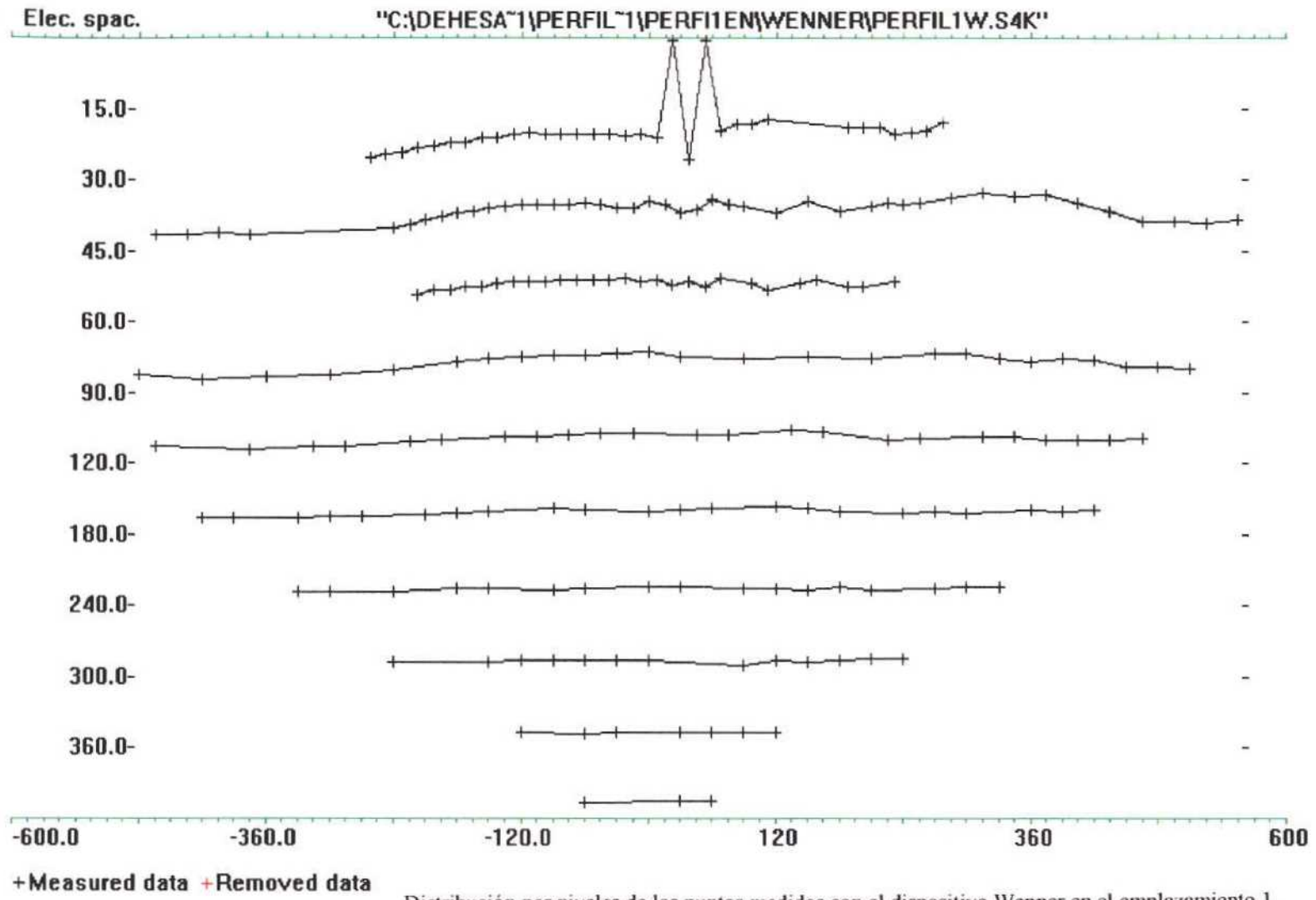


Figura 34

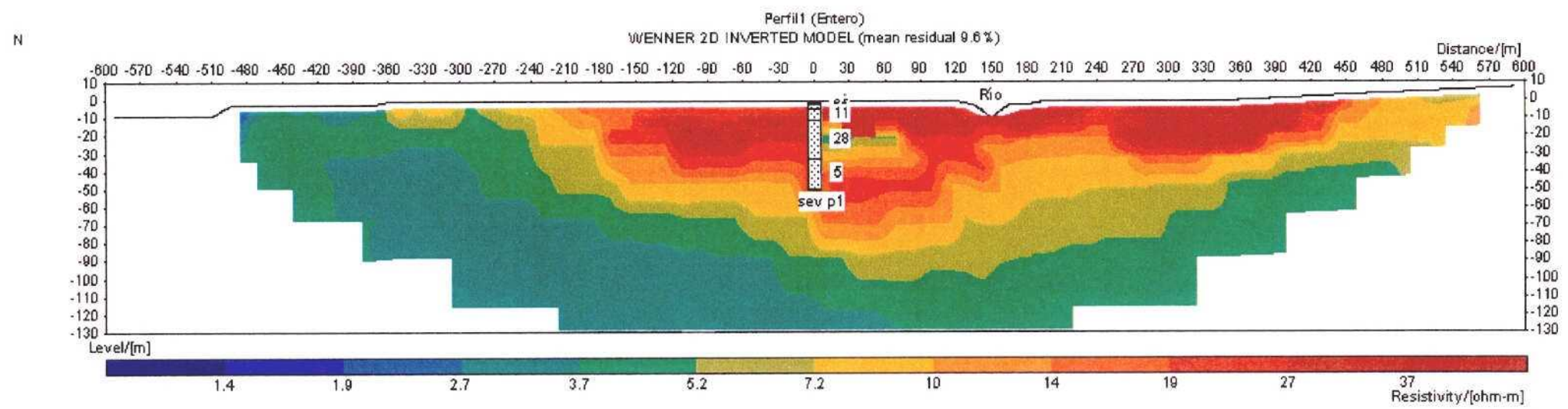
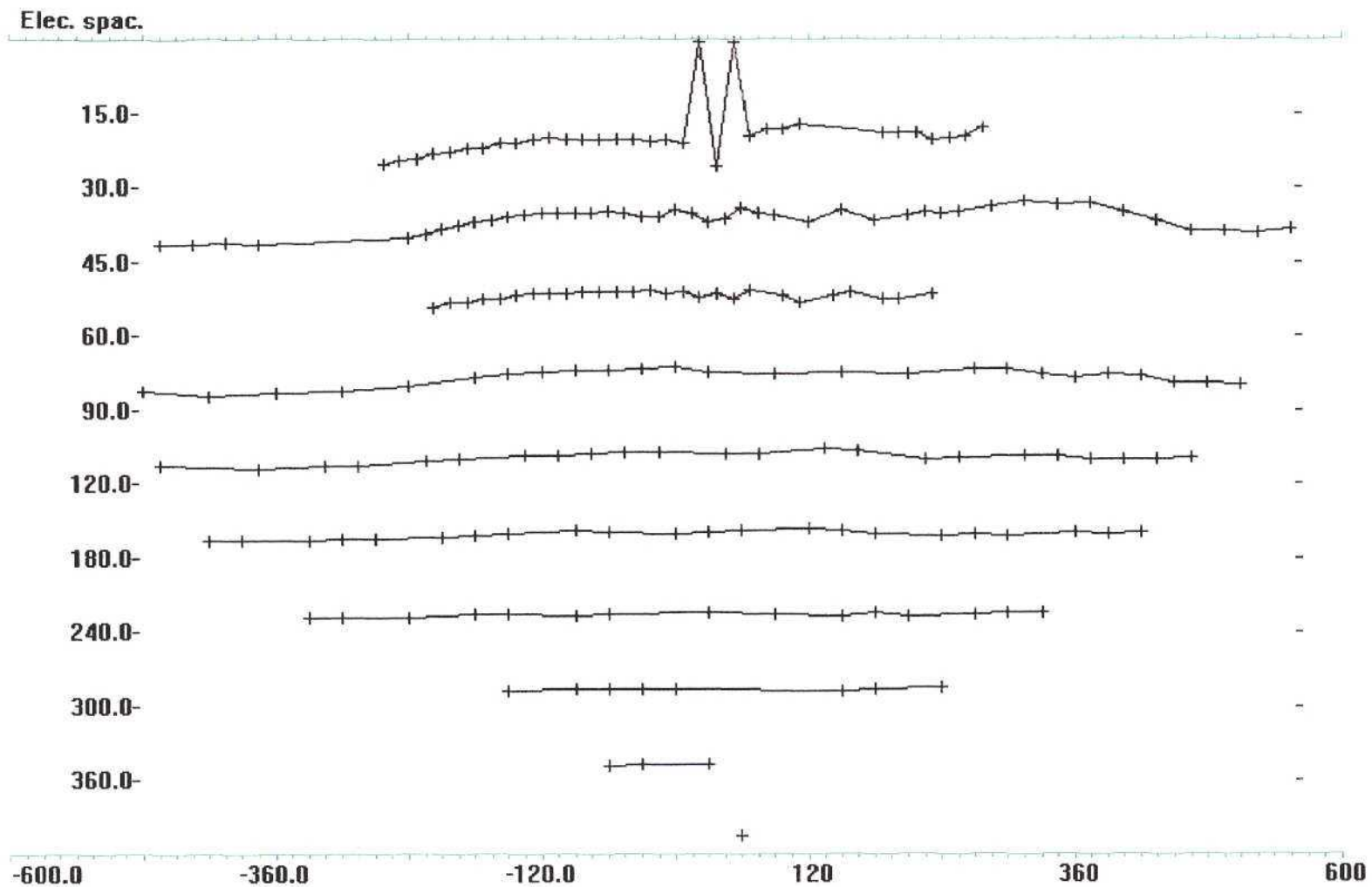


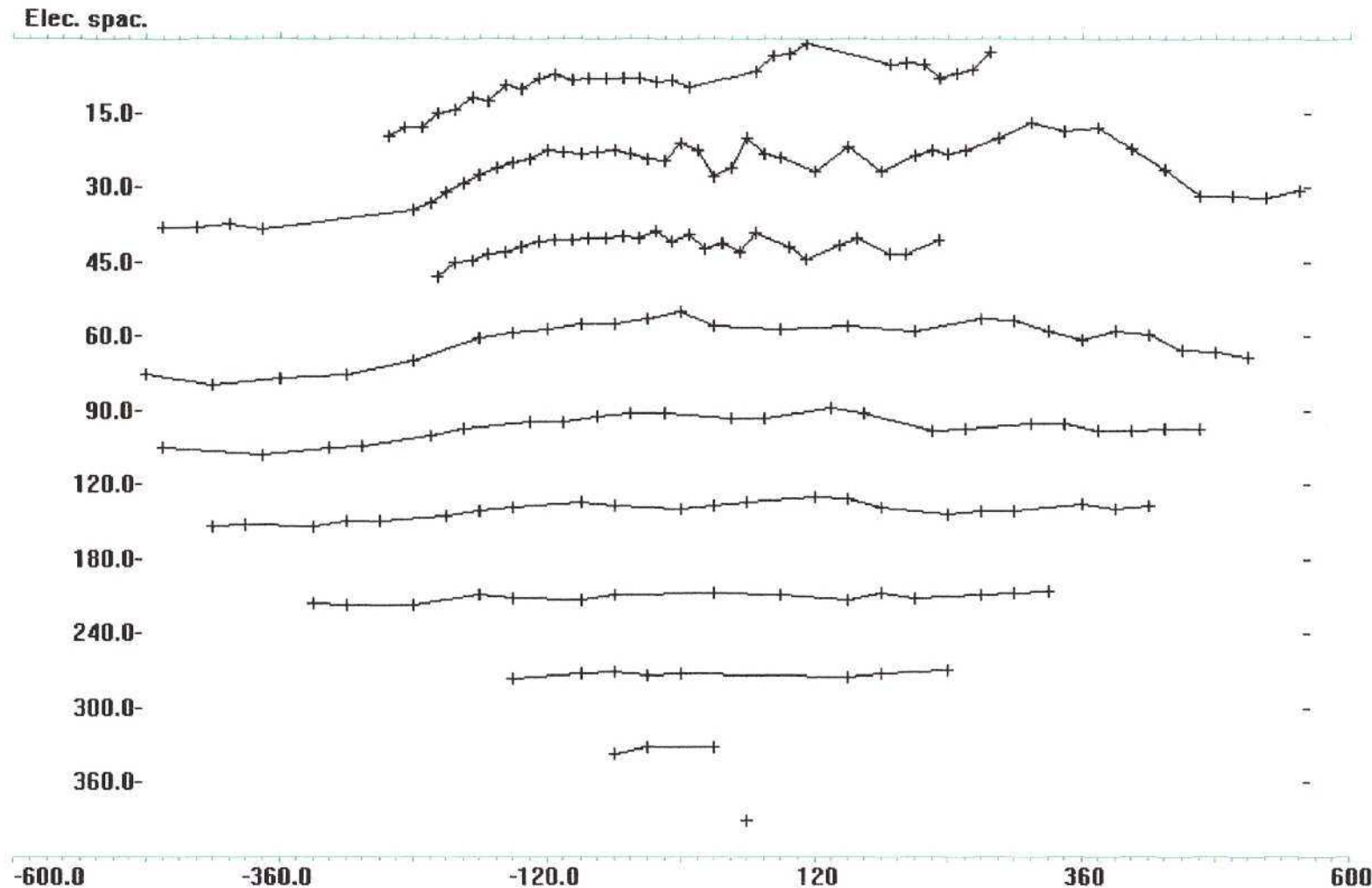
Figura 35



+ Measured data + Removed data

Distribución por niveles de los puntos con errores de medida menores del 2% para el dispositivo Wenner en el emplazamiento 1.

Figura 36



+ Measured data + Removed data

Distribución por niveles de los puntos con errores de medida menores del 2% y eliminados los picos de resistividad para el dispositivo Wenner en el emplazamiento 1.

Figura 37

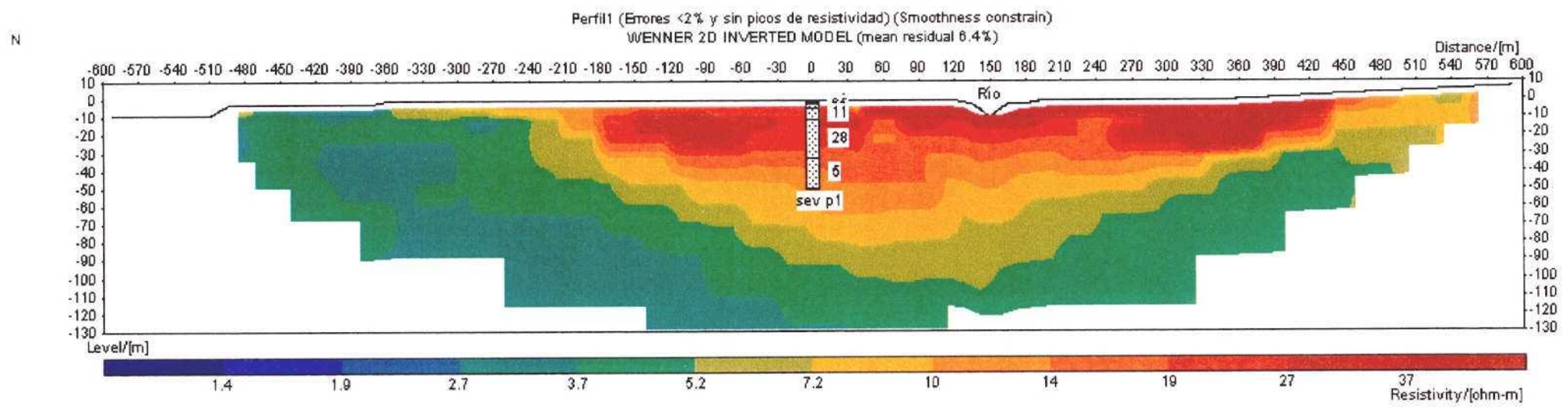


Figura 38

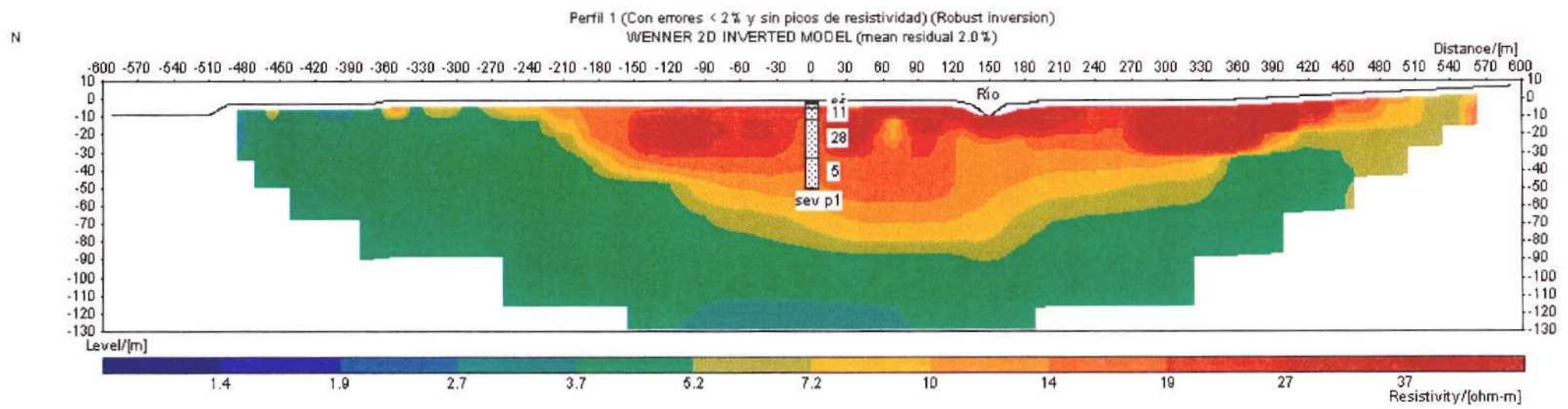
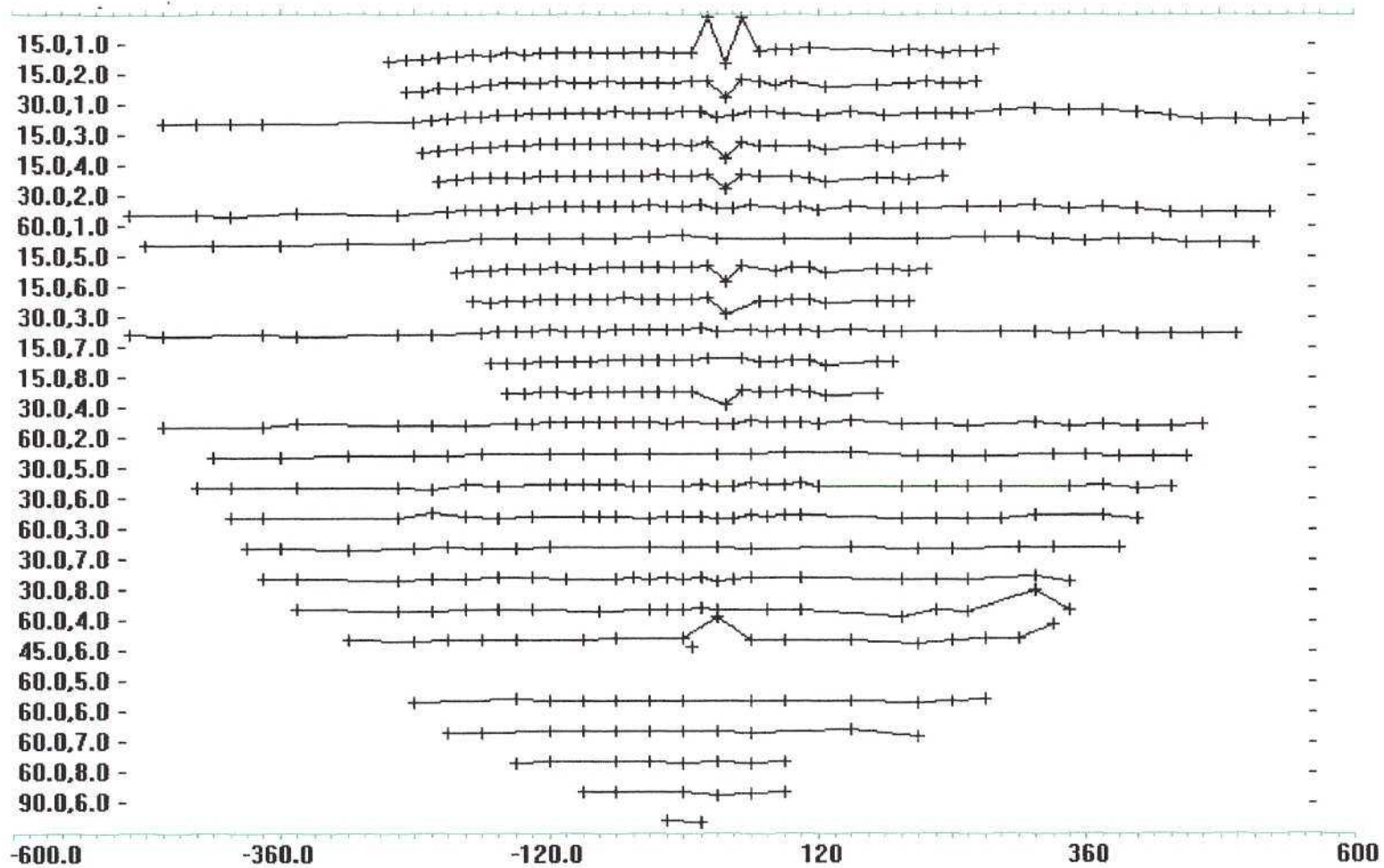


Figura 39



+ Measured data + Removed data

Distribución por niveles de los puntos medidos con el dispositivo Wenner-Schlumberger en el emplazamiento I.

Figura 40

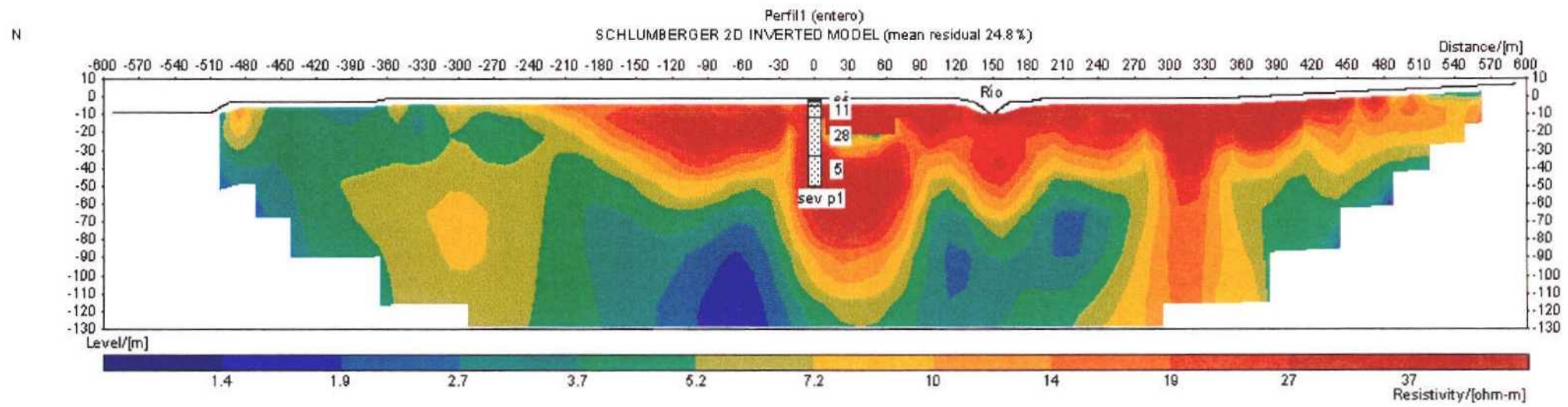
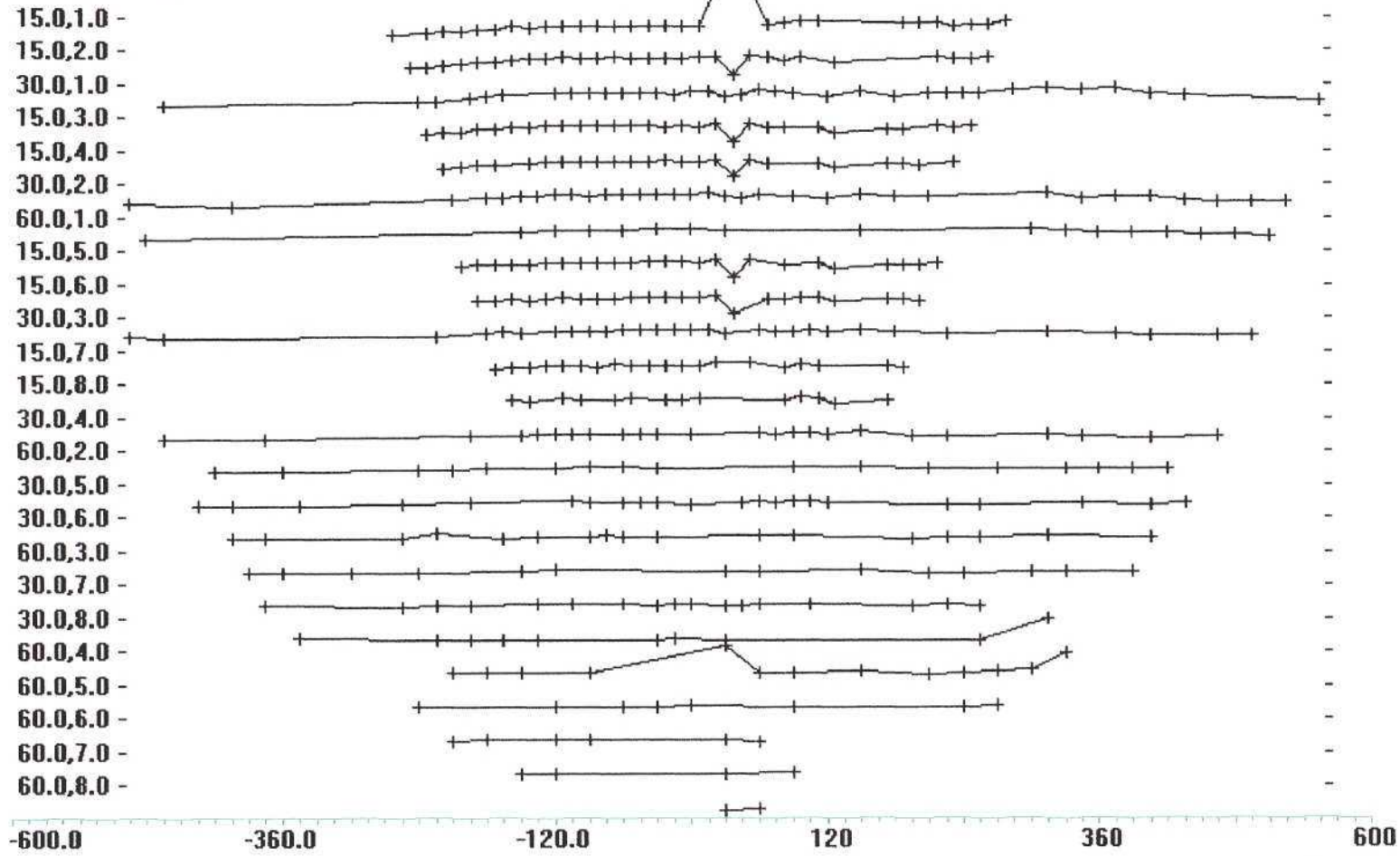


Figura 41

Elec. spac., Wenn-Schlum length

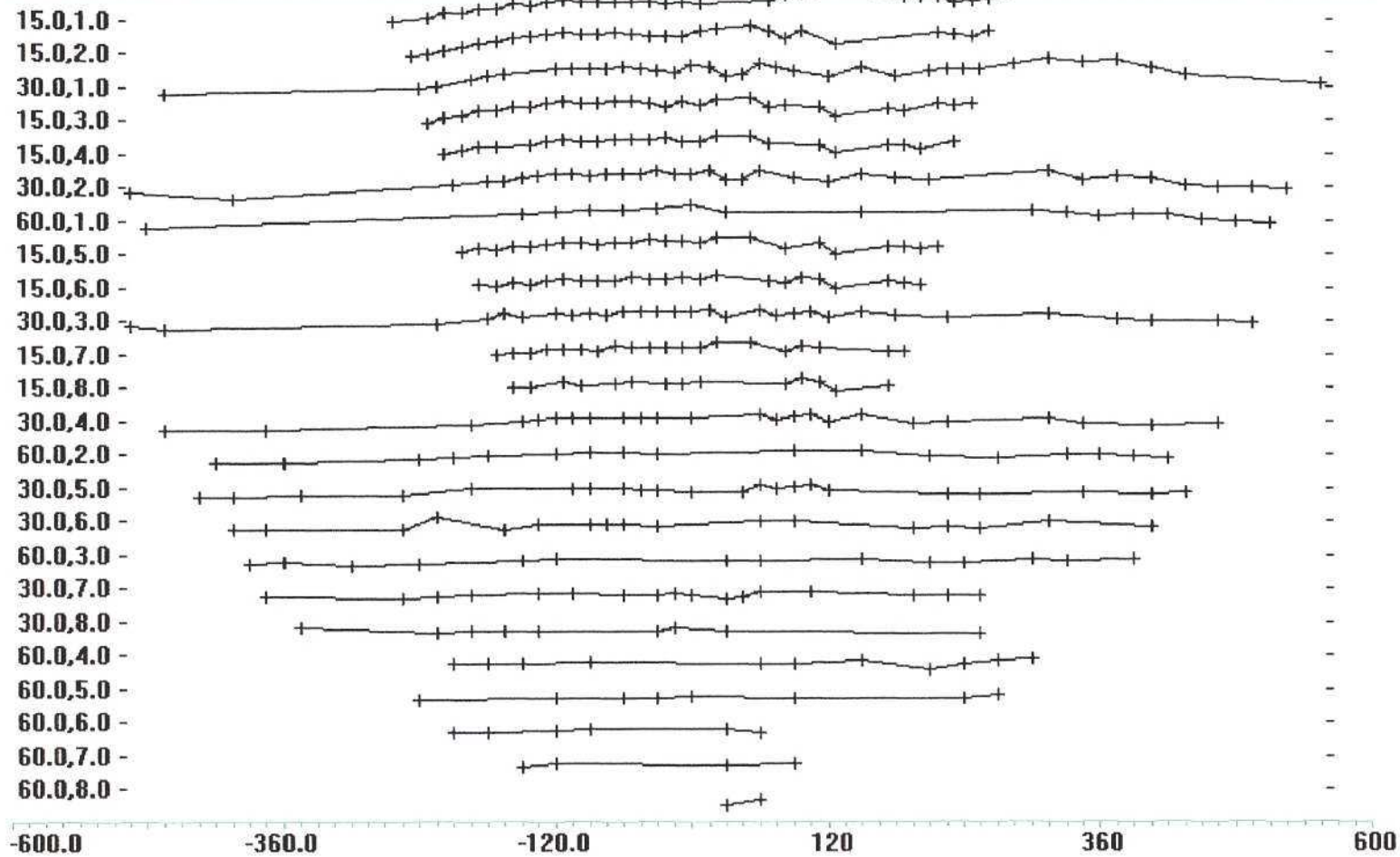


+ Measured data + Removed data

Distribución por niveles de los puntos con errores de medida menores del 2% para el dispositivo Wenn-Schlumberger en el emplazamiento 1.

Figura 42

Elec. spac., Wenner-Schlum length



+ Measured data + Removed data

Distribución por niveles de los puntos con errores de medida menores del 2% y eliminados los picos de resistividad para el dispositivo Wenner-Schlumberger en el emplazamiento 1.

Figura 43

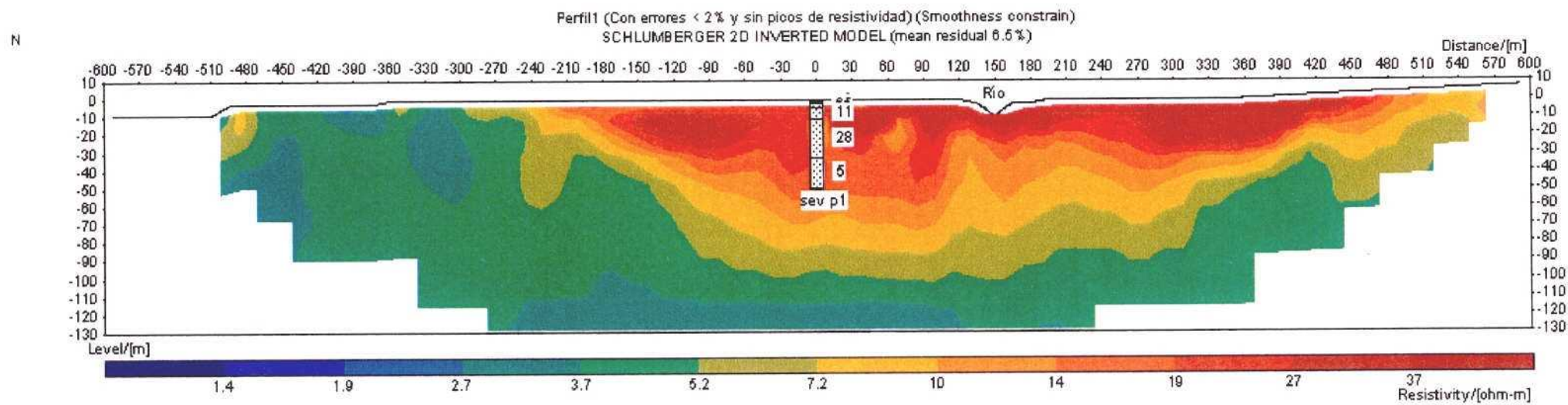


Figura 44

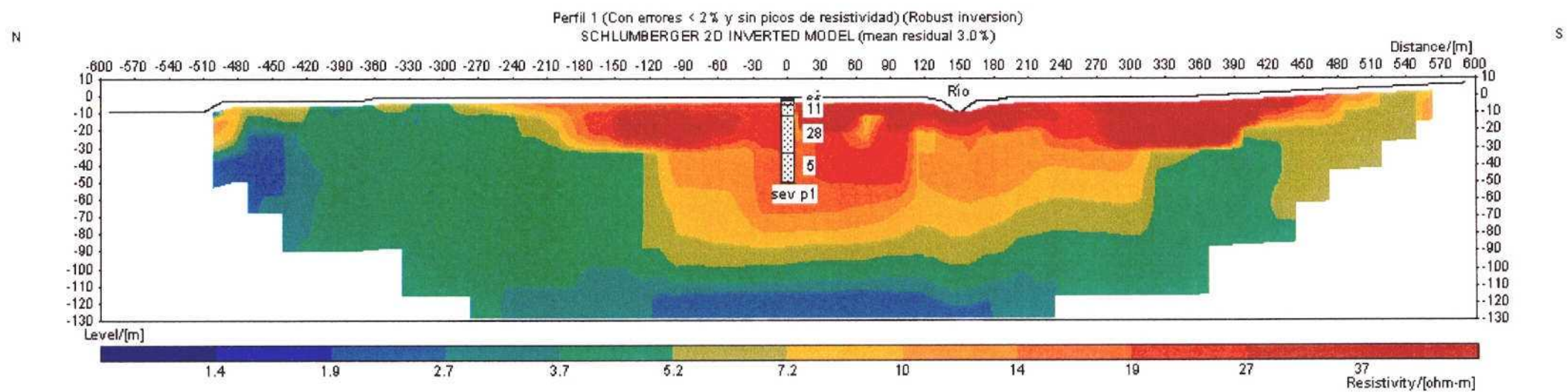
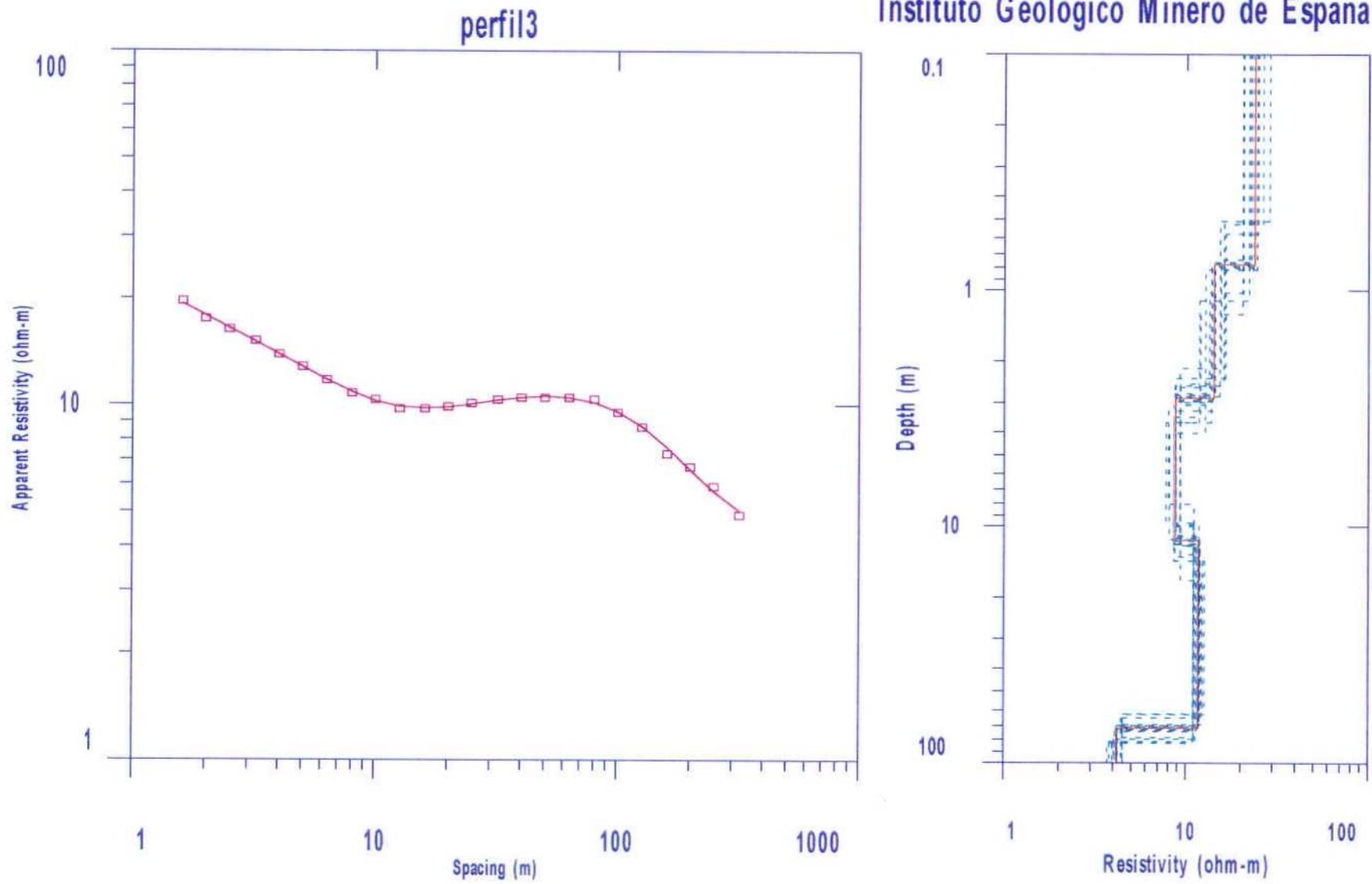


Figura 45

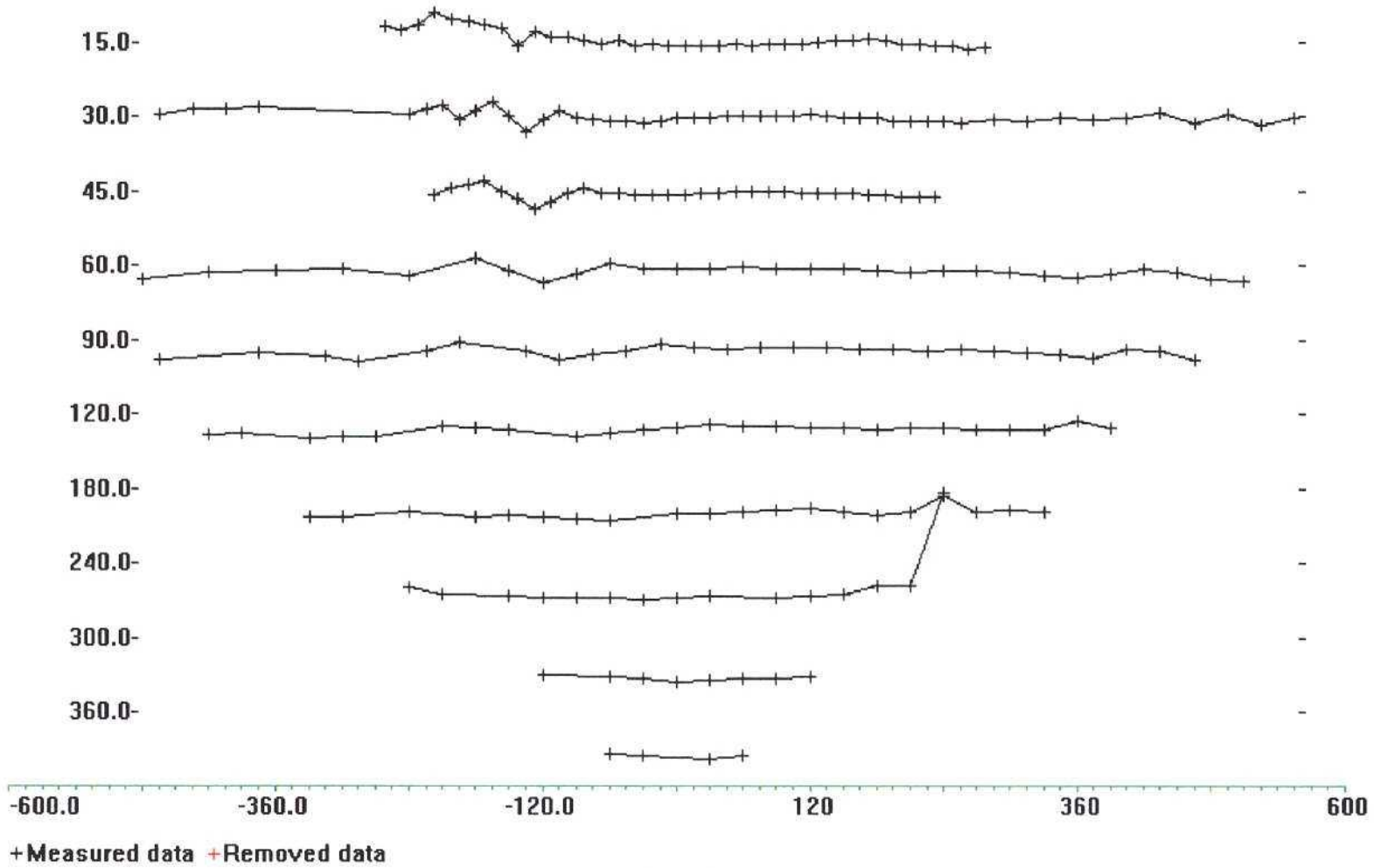


Interpretación del SEV p3 con modelo inicial la interpretación del SEV p2.

Figura 46

Elec. spac.

"C:\DEHESA\1\PERFIL\2\PERFI3EN\WENNER\PERFIL3W.S4K"



Distribución por niveles de los puntos medidos con el dispositivo Wenner en el emplazamiento 3.

Figura 47

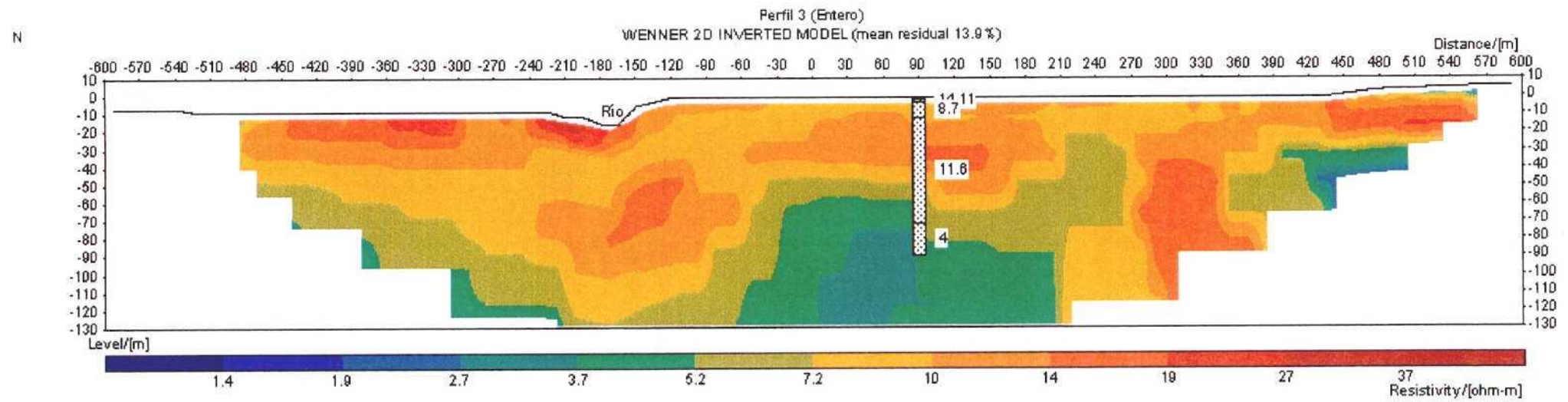
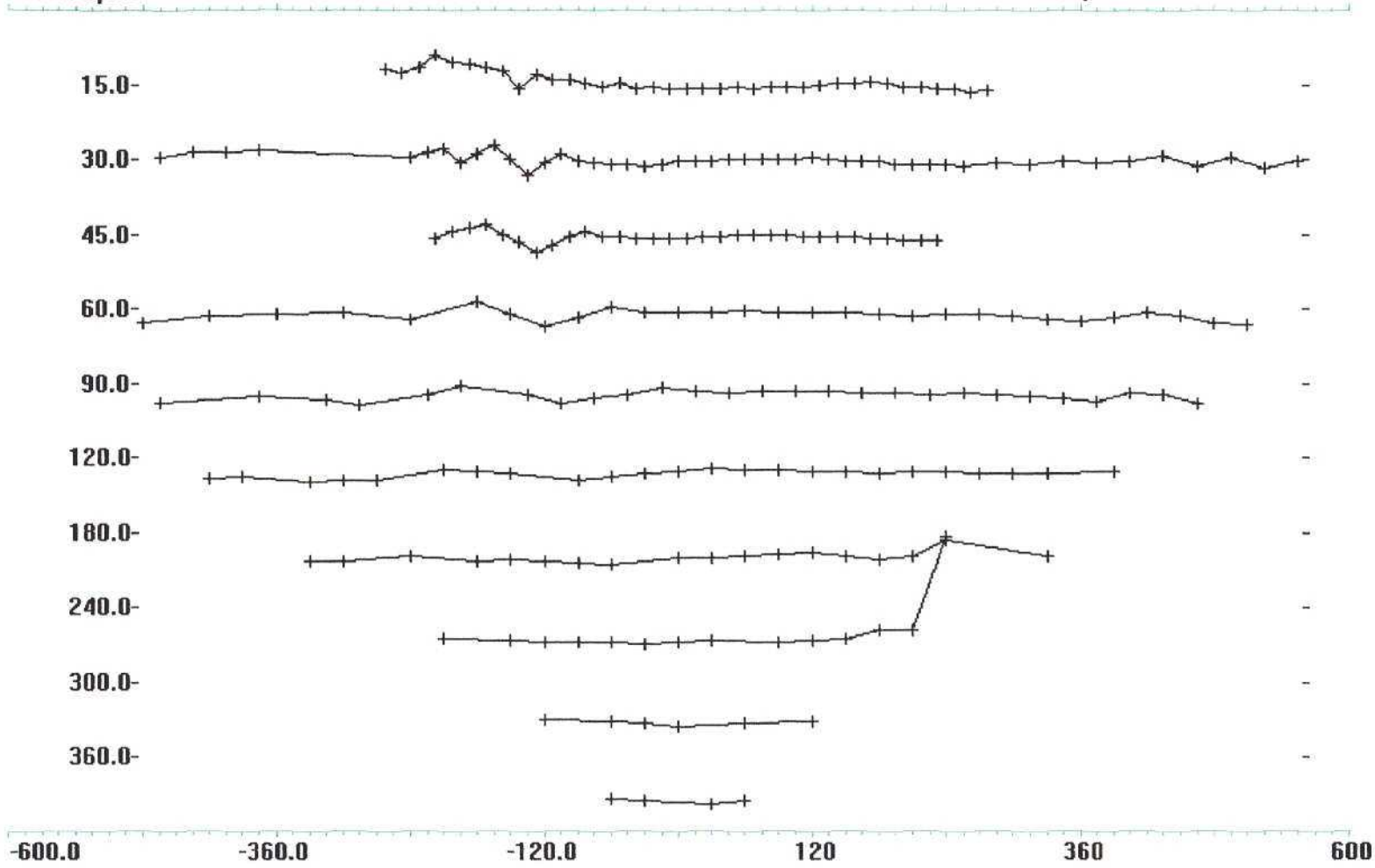


Figura 48

Elec. spac.

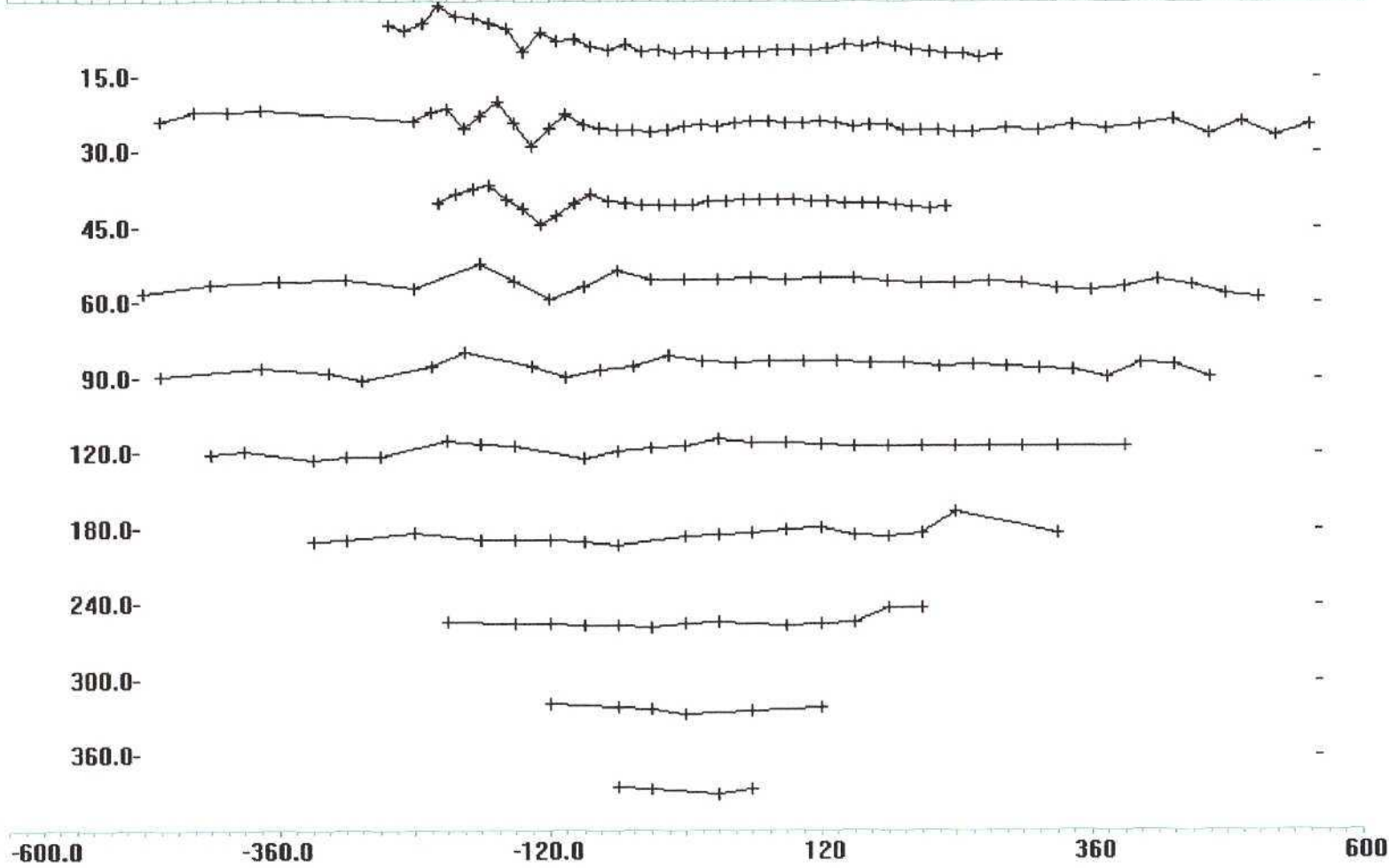


+ Measured data - Removed data

Distribución por niveles de los puntos con errores de medida menores del 2% para el dispositivo Wenner en el emplazamiento 3.

Figura 49

Elec. spac.



+ Measured data + Removed data

Distribución por niveles de los puntos con errores de medida menores del 2% y eliminados los picos de resistividad para el dispositivo Wenner en el emplazamiento 3.

Figura 50

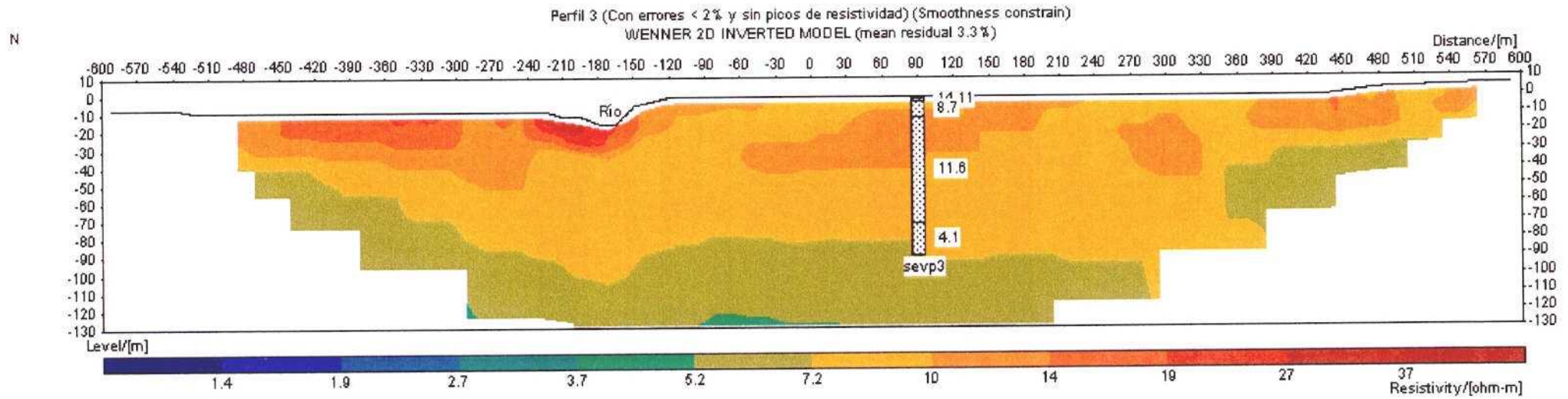


Figura 51

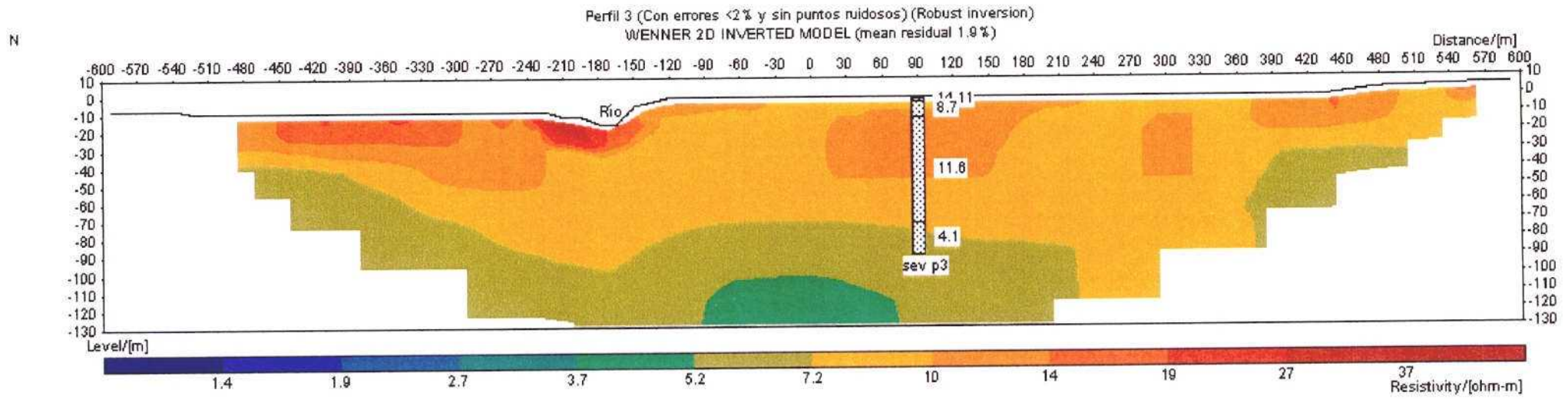
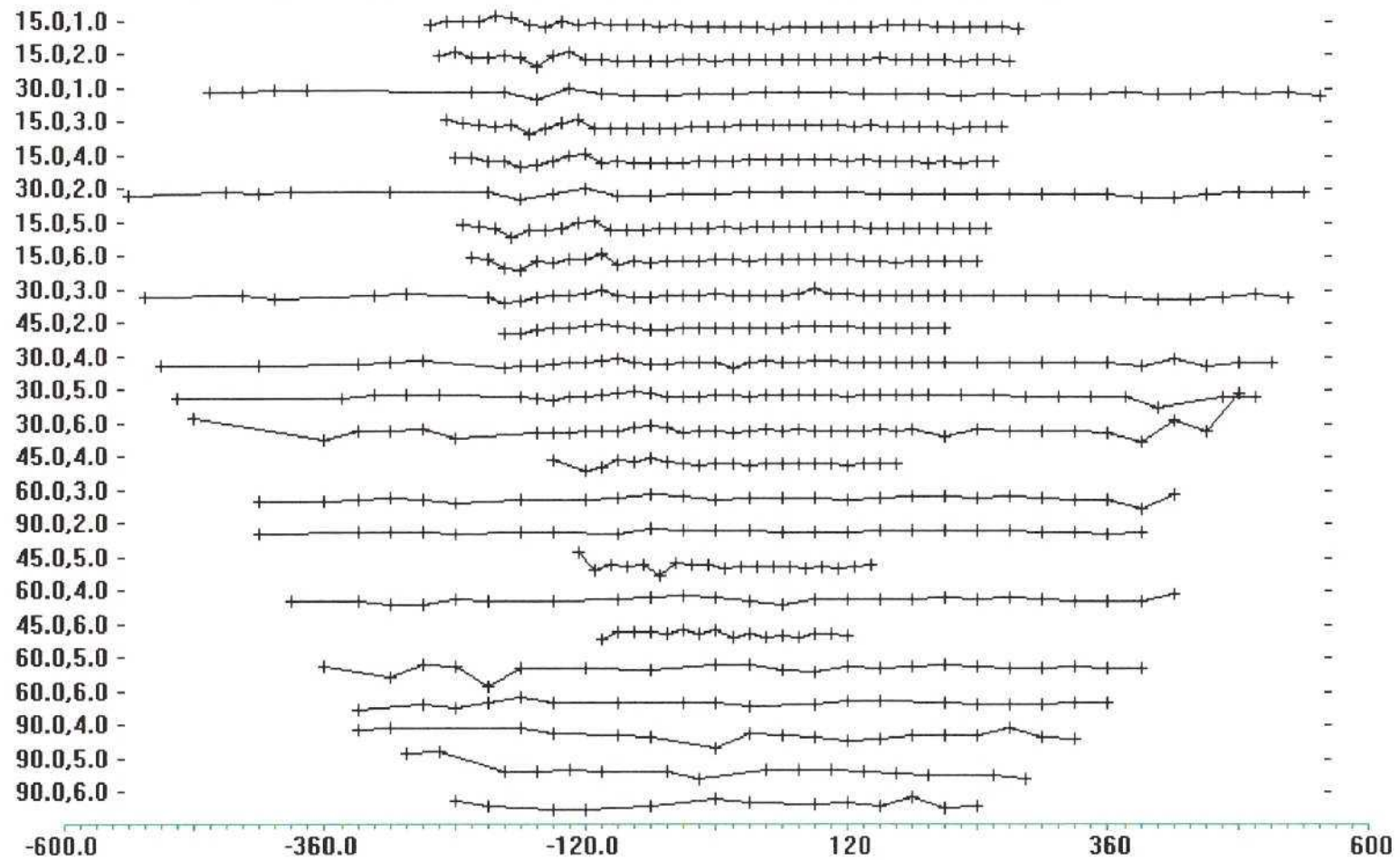


Figura 52

Elec. spac.,dipole length



+ Measured data + Removed data

Distribución por niveles de los puntos medidos con el dispositivo Dipolo-Dipolo en el emplazamiento 3.

Figura 53

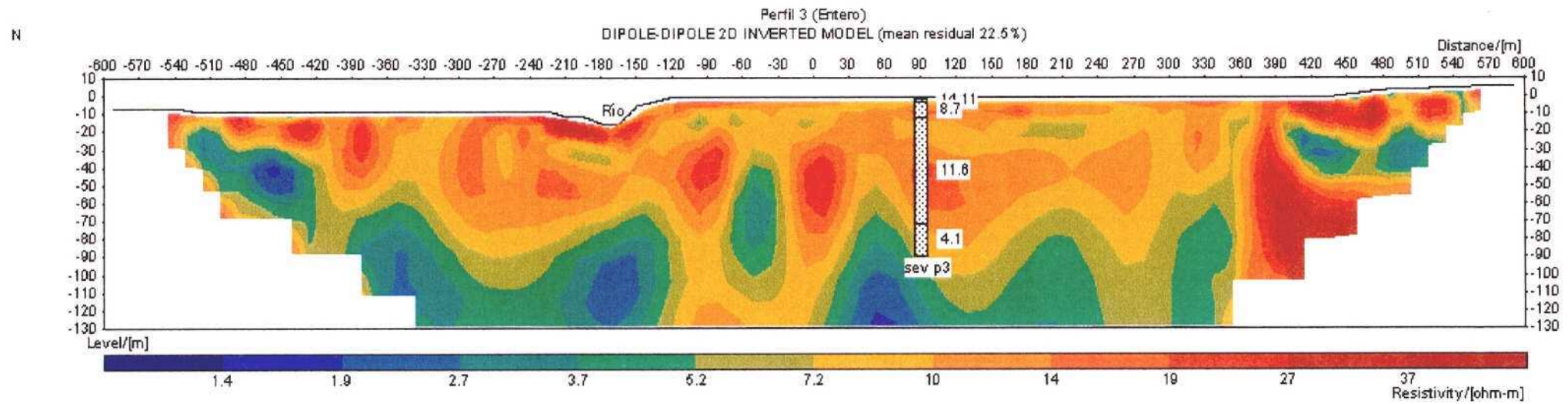
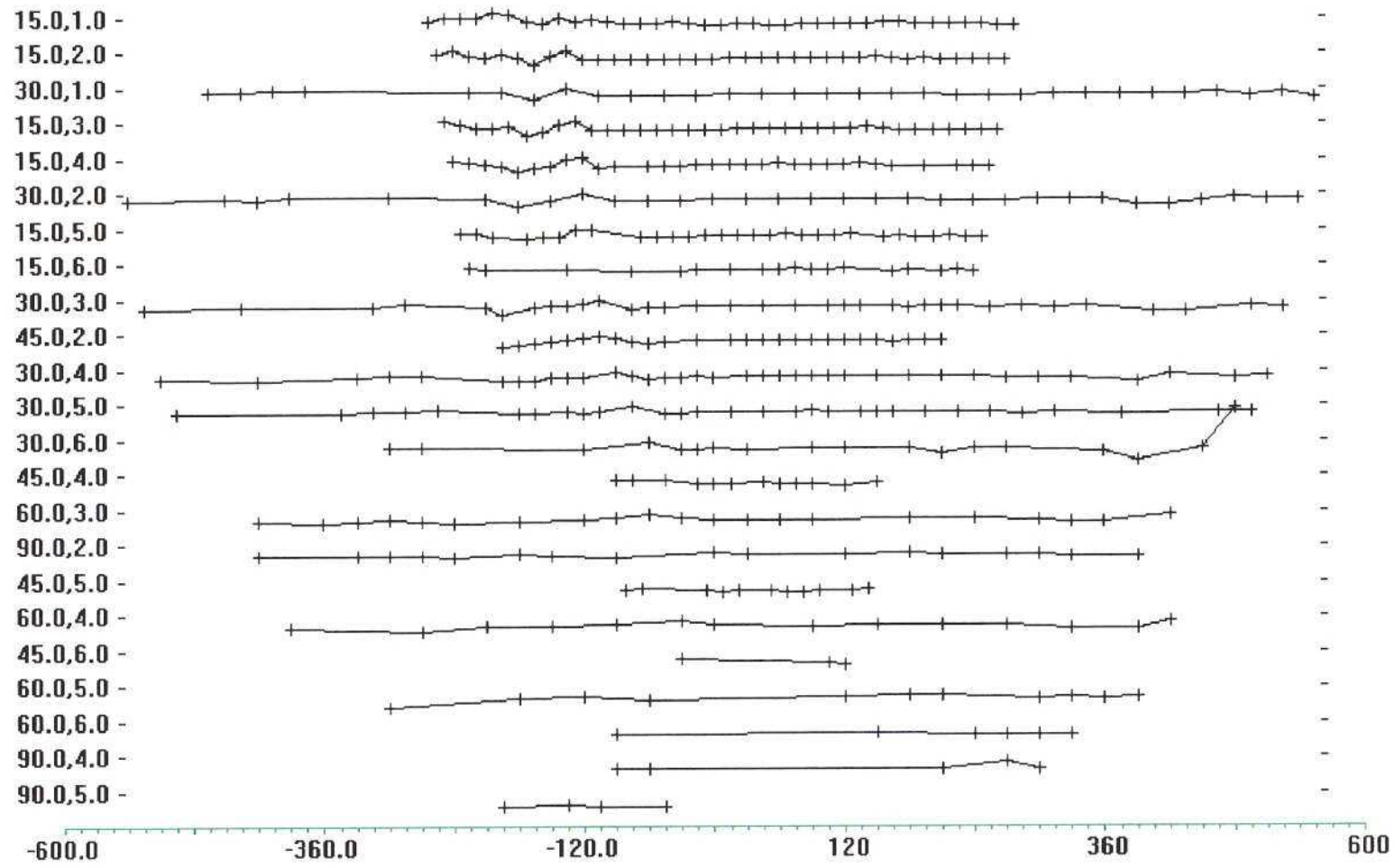


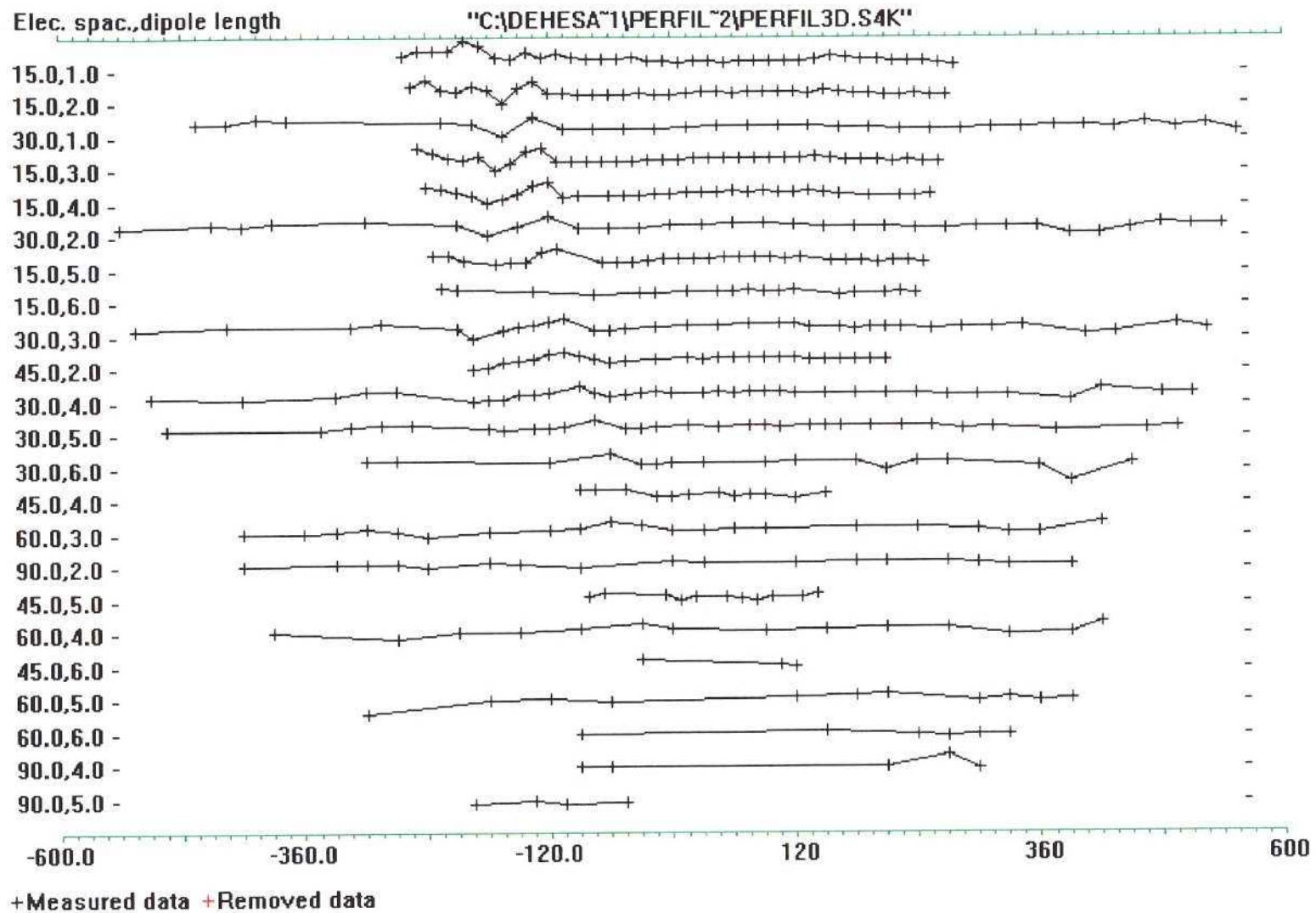
Figura 54

Elec. spac.,dipole length



+Measured data -Removed data

Distribución por niveles de los puntos con errores de medida menores del 2% para el dispositivo Dipolo-Dipolo en el emplazamiento 3.



Distribución por niveles de los puntos con errores de medida menores del 2% y eliminados los picos de resistividad para el dispositivo Dipolo-Dipolo en el emplazamiento 3.

Figura 56

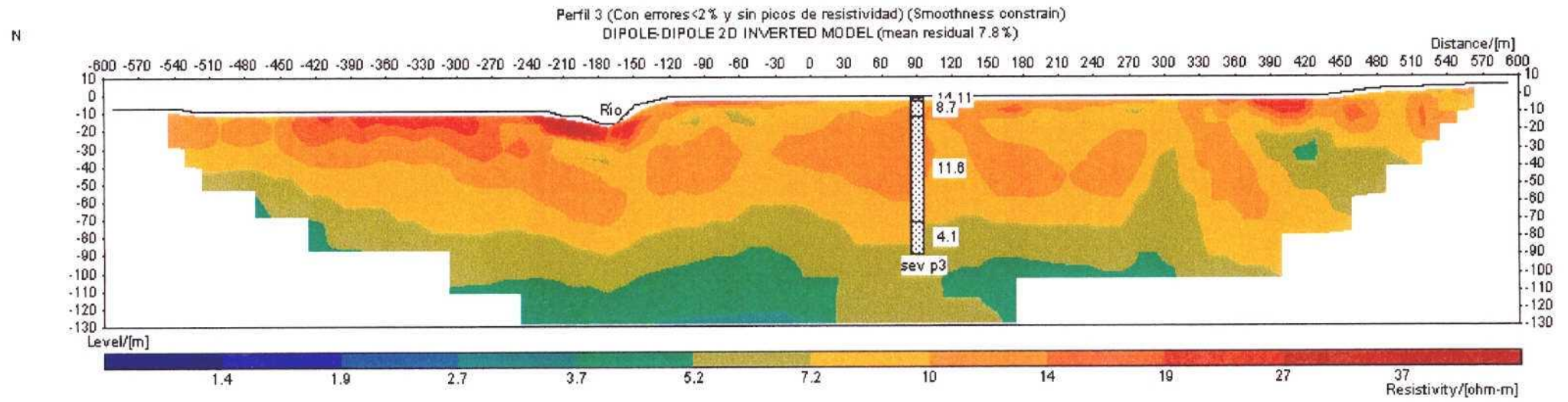


Figura 57

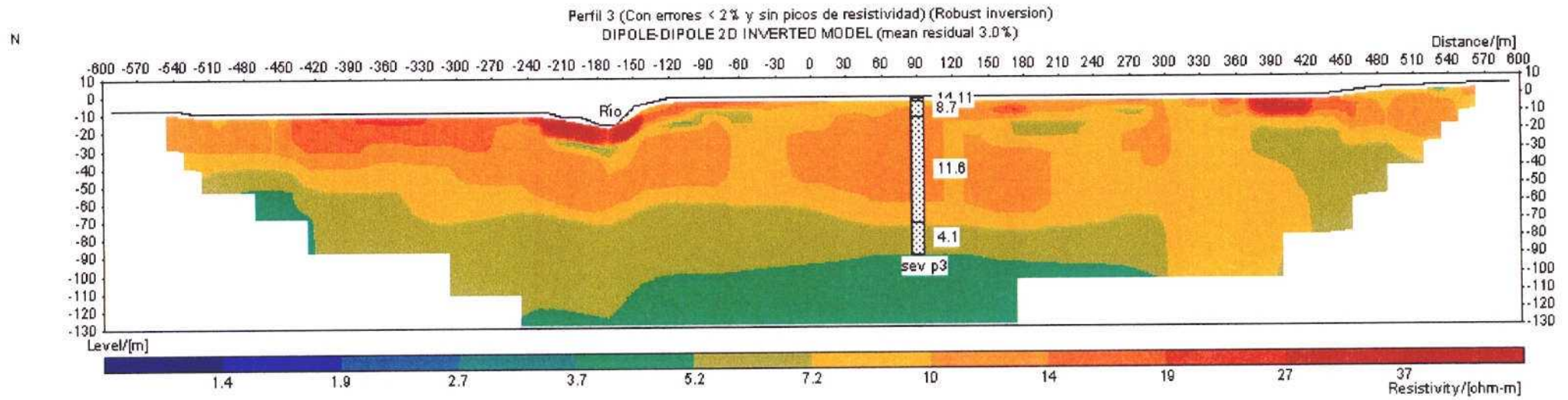


Figura 58

ANEXO A

RELACIÓN DE LOS FICHEROS GENERADOS

RELACIÓN DE FICHEROS GENERADOS:

CARPETA TEXTO:

Informe.doc: Documento word con el texto de este informe.
Tabla2.xls: Fichero excel con la tabla 2
Titulo.doc: Fichero word con el titulo del informe
Ficheros.doc: Fichero word con el texto de la relación de ficheros generados

CARPETA FIGURAS:

En esta carpeta se incluyen los ficheros correspondientes a las figuras 1 a 16 del informe.

CARPETA SEV:

Contiene todos los ficheros dato de los SEV y de la interpretación de los mismos por el programa Ix1d:

P*.dat: Ficheros ASCII con los datos de campo del SEV p*
P*.ixr: Fichero binario con los datos sin empalmes y la interpretación del SEV p* (*=1 a 3)

CARPETAS PERFILES:

Contienen los ficheros de datos y las interpretaciones de los perfiles mediante el programa Res2dinv.

Los tipos de ficheros que se encuentran en estas carpetas poseen las siguientes extensiones:

“.log” y “.s4k” ficheros de datos de campo generados en el equipo ABEM

“.dat” fichero ASCII con los datos de campo transformados al formato para el programa Res2dinv

“.inv”, “.rho”, “.rms”, “.inf”, “.GLF”, “.ref”, “.RLF” ficheros generados por el programa res2dinv, donde se almacenan los datos de la inversión (inv) y los ficheros necesarios para representar los perfiles con el programa Erigraph v2.2 (rho).

CARPETA PERFIL 1:

RAIZ:

“perfil1s”: fichero datos del perfil medido con el dispositivo wenner -schlumberger
“perfil1w”: fichero datos del perfil medido con el dispositivo wenner
“perfil1w.2002.12.02.12.39.18.dat”: fichero datos del perfil medido con el dispositivo wenner
“perfil1s.2002.12.02.13.01.50.dat”: fichero datos del perfil medido con el dispositivo wenner-schlumberger.
“topo1.xls”: fichero excel con la topografía del perfil 1

SUBCARPETA Wenner:

“perfil1w”: Perfil 1 dispositivo wenner con todos los datos
“perfil1sort”: Perfil 1 dispositivo wenner con todos los datos ordenados. Algoritmo de inversión smoothness.constrain
“p1e2wsort”: Perfil 1 dispositivo wenner con datos con errores menores del 2% y ordenados. Algoritmo de inversión smoothness.constrain
“p1e2wsortlimpio”: Perfil 1 dispositivo wenner con datos con errores menores del 2%, sin picos de resistividad y ordenados. Algoritmo de inversión smoothness.constrain.
“p1e2wsortlimpiorobust”: Perfil 1 dispositivo wenner con datos con errores menores del 2%, sin picos de resistividad y ordenados. Algoritmo de robust inversión

SUBCARPETA Schl:

“perfills”: Perfil 1 dispositivo wenner-schlumberger con todos los datos

“p1sortsch”: Perfil 1 dispositivo wenner-schlumberger con todos los datos ordenados.
Algoritmo de inversión smoothness.constrain

“p1e2sortsch”: Perfil 1 dispositivo wenner-schlumberger con datos con errores menores del 2% y ordenados. Algoritmo de inversión smoothness.constrain

“p1e2sortschlimpio”: Perfil 1 dispositivo wenner-schlumberger con datos con errores menores del 2%, sin picos de resistividad y ordenados. Algoritmo de inversión smoothness.constrain.

“p1e2sortschlimpiorobust”: Perfil 1 dispositivo wenner-schlumberger con datos con errores menores del 2%, sin picos de resistividad y ordenados. Algoritmo de robust inversión

CARPETA PERFIL 2:

RAIZ:

“perfil2d”: fichero datos del perfil medido con el dispositivo dipolo-dipolo

“perfi12w”: fichero datos del perfil medido con el dispositivo wenner

“topo2.xls”: fichero excel con la topografía del perfil 2

SUBCARPETA Wenner:

“perfil1w”: Perfil 2 dispositivo wenner con todos los datos

“p2wsort”: Perfil 2 dispositivo wenner con todos los datos ordenados. Algoritmo de inversión smoothness.constrain

“p2e2wsort”: Perfil 2 dispositivo wenner con datos con errores menores del 2% y ordenados. Algoritmo de inversión smoothness.constrain

“p2e2wsortlimpio”: Perfil 2 dispositivo wenner con datos con errores menores del 2%, sin picos de resistividad y ordenados. Algoritmo de inversión smoothness.constrain.

“p2e2wsortlimpiorobust”: Perfil 2 dispositivo wenner con datos con errores menores del 2%, sin picos de resistividad y ordenados. Algoritmo de robust inversión

SUBCARPETA dipolo:

“perfil2d”: Perfil 2 dispositivo dipolo-dipolo con todos los datos

“p2dsort”: Perfil 2 dispositivo dipolo-dipolo con todos los datos ordenados. Algoritmo de inversión smoothness.constrain

“p2e2dsort”: Perfil 2 dispositivo dipolo-dipolo con datos con errores menores del 2% y ordenados. Algoritmo de inversión smoothness.constrain

“p2e2dsortlimpio”: Perfil 2 dispositivo dipolo-dipolo con datos con errores menores del 2%, sin picos de resistividad y ordenados. Algoritmo de inversión smoothness.constrain.

“p2e2dsortlimpiorobust”: Perfil 2 dispositivo dipolo-dipolo con datos con errores menores del 2%, sin picos de resistividad y ordenados. Algoritmo de robust inversión

CARPETA PERFIL 3:

RAIZ:

“perfil3d”: fichero datos del perfil medido con el dispositivo dipolo-dipolo

“perfi13w”: fichero datos del perfil medido con el dispositivo wenner

“topo3.xls”: fichero excel con la topografía del perfil 3

SUBCARPETA Wenner:

“perfil3w”: Perfil 3 dispositivo wenner con todos los datos

“p3wsort”: Perfil 3 dispositivo wenner con todos los datos ordenados. Algoritmo de inversión smoothness.constrain

“p3e2wsort” : Perfil 3 dispositivo wenner con datos con errores menores del 2% y ordenados. Algoritmo de inversión smoothness.constrain

“p3e2wsortlimpio” : Perfil 3 dispositivo wenner con datos con errores menores del 2%, sin picos de resistividad y ordenados. Algoritmo de inversión smoothness.constrain.

“p3e2wsortlimpiorobust” : Perfil 3 dispositivo wenner con datos con errores menores del 2%, sin picos de resistividad y ordenados. Algoritmo de robust inversión

SUBCARPETA dipolo:

“perfil3d” : Perfil 3 dispositivo dipolo-dipolo con todos los datos

“p3dsort” : Perfil 3 dispositivo dipolo-dipolo con todos los datos ordenados. Algoritmo de inversión smoothness.constrain

“p3e2dsort” : Perfil 3 dispositivo dipo-dipolo con datos con errores menores del 2% y ordenados. Algoritmo de inversión smoothness.constrain

“p3e2dsortlimpio” : Perfil 3 dispositivo dipolo-dipolo con datos con errores menores del 2%, sin picos de resistividad y ordenados. Algoritmo de inversión smoothness.constrain.

“p3e2dsortlimpiorobust” : Perfil 3 dispositivo dipolo-dipolo con datos con errores menores del 2%, sin picos de resistividad y ordenados. Algoritmo de robust inversión

ANEXO B

PARÁMETROS EMPLEADOS EN LA INVERSIÓN

Initial damping factor is 0.1500.
Minimum damping factor is 0.0300.
Line search is always used.
Convergence limit is 5.0000.
Minimum change in RMS error is 0.4000.
Number of iterations is 5.
Vertical to horizontal flatness filter ratio is 1.0000.
Increase in layer thickness is 25%.
Number of nodes between adjacent electrodes is 4.
Smoothness constrain is only used directly on model resistivity values.
Number of topographical datum points is not reduced.
Topographical modeling is to be carried out.
Least-squares linear topographical trend to be removed.
Jacobian matrix is recalculated for first 2 iterations.
Increase of damping factor with depth is 1.1000.
Finite element method is used for topographic modeling.
Robust data inversion constrain not used.
Cutoff factor for robust data inversion constrain is 0.1000.
Robust model inversion constrain is not used.
Cutoff factor for robust model inversion constrain is 0.0020.
Number of model parameters cannot exceed datum points.
Extended model is not used.
Effect of side blocks is not reduced.
Normal mesh is used.
Damping factor is not optimised at each iteration.
Least-squares smoothness constrain is used in time-lapse inversion.
Simultaneous time-lapse inversion is used.
Thickness of first layer is 0.5000.
Factor to increase thickness layer with depth is 1.2500.