



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

APOYO GEOFISICO A LAS INVESTIGACIONES DEL ITGE.

RECONOCIMIENTO MEDIANTE SEDT EN EL AREA DE
OLOT (GIRONA).

Abril-94.



MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO

40440

I N D I C E.

1.	INTRODUCCION	1
2.	ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	3
3.	METODOLOGIA	5
4.	EQUIPO DE TRABAJO	7
	4.1. Personal	7
	4.2. Medios materiales	8
5.	TRABAJO REALIZADO	9
	5.1. Ensayos previos	9
	5.2. Toma de datos	10
	5.3. Procesado e interpretación de datos ..	12
	5.4. Documentos del estudio	14
6.	RESULTADOS OBTENIDOS	16
7.	CONCLUSIONES	23

INDICE DE FIGURAS.

- Nº 1. Localización de la zona de estudio
- Nº 2. Localización de los puntos de medida
- Nº 3. Calidad de los SEDT
- Nº 4. Distribución de los SEDT en perfiles.

P L A N O S.

- Nº 1. Cortes esquemático longitudinal del Río Fluvia
- Nº 2. Perfil geoelectrico nº 1
- Nº 3. Perfil geoelectrico nº 2
- Nº 4. Perfil geoelectrico nº 3.

A N E X O S.

- Nº 1. Características del equipo empleado
- Nº 2. Curvas de resistividad aparente y su interpretación
- Nº 3. Descripción de los ficheros digitales

1. INTRODUCCION.

El estudio que se describe en este Informe se ha realizado en el entorno de la población de Olot, en la zona indicada sobre la Figura 1. Esta zona ocupa parte de las hojas nos. 256, 257, 294 y 295 del MTN a escala 1/50.000.

El conjunto de los trabajos de prospección geofísica llevados a cabo forman parte del Proyecto «Apoyo geofísico a las investigaciones del ITGE, 1.993» contratado a INTERNATIONAL GEOPHYSICAL TECHNOLOGY, S.A. que los ha realizado utilizando sus medios materiales y personal de plantilla.

Estos trabajos se efectuaron en Febrero de 1.994 y han consistido en la toma de datos e interpretación de 40 Sondeos EM de Dominio de Tiempos (SEDT) en los emplazamientos previamente definidos por los técnicos del ITGE.

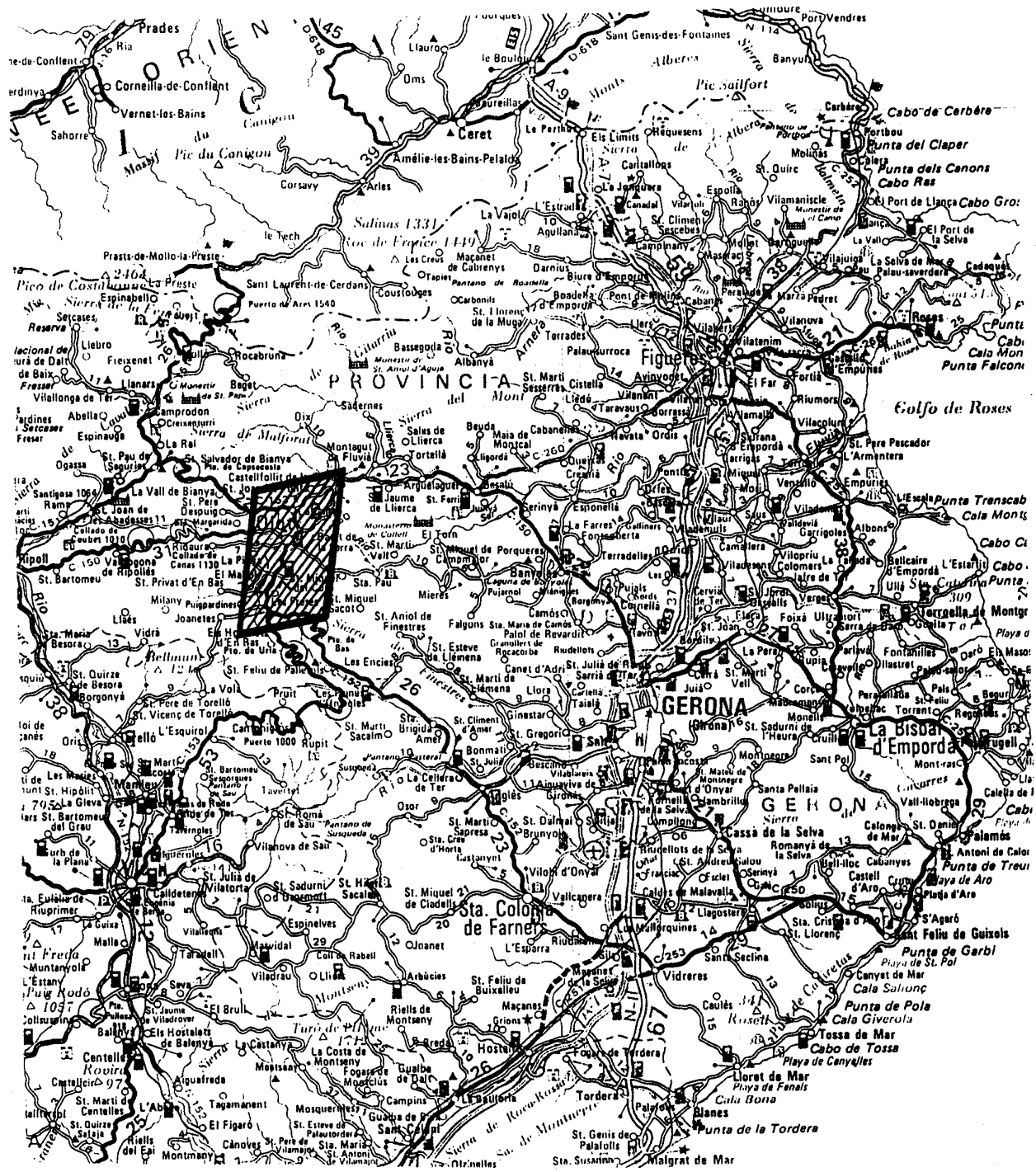


FIGURA 1. Localización de la zona de estudio.

2. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS.

Entre 1.991 y 1.993 el ITGE llevó a cabo el «ESTUDIO HIDROGEOLOGICO Y DE LOS ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES DE LOS ACUIFEROS RELACIONADOS CON LAS COMARCAS DE LA SEVA, GARROTXA, PLA DE L'ESTANY, AMPURDAN Y GARRAF (PIRINEO ORIENTAL)».

El volumen B) de este Estudio se refiere exclusivamente al VOLCANICO DE OLOT y en él se definen los aspectos hidrogeológicos más relevantes del acuífero volcánico-aluvial. Entre las recomendaciones del estudio de referencia se incluyen diferentes actuaciones para una mejor explotación de las aguas subterráneas. Aunque no se menciona de forma explícita, es obvio que la aplicación de técnicas geofísicas puede contribuir a un mejor conocimiento de la distribución espacial de los materiales del Cuaternario (términos detríticos y volcánicos) que constituyen el acuífero de mayor interés de la zona.

El esquema geológico de la zona de trabajo se resume en el corte suministrado por el ITGE que representamos en el Plano nº 1. Sobre el zócalo Eoceno indiferenciado se disponen materiales Cuaternarios con un espesor que llega a ser del orden de 100 m. En esta unidad se incluyen términos detríticos groseros (gravas) y también finos (limos), así como coladas volcánicas de naturaleza basáltica.

Desde el punto de vista hidrogeológico es del mayor interés disponer de información relativa a la distribución espacial de cada uno de los términos litológicos mencionados, incluyendo el nivel inferior de gravas situado entre los

basaltos y el zócalo Eoceno. Así pues estos son los objetivos cuya resolución se espera conseguir mediante el presente reconocimiento geofísico, desde el supuesto de que exista el suficiente contraste de resistividad entre los basaltos, las gravas, los términos detríticos finos y el zócalo Eoceno.

3. METODOLOGIA.

Para la resolución de los objetivos planteados en este estudio, el ITGE consideró adecuado utilizar el método de los SEDT dadas sus características en cuanto a penetración, resolución y condicionantes de tipo logístico para su aplicación.

Esta modalidad de sondeo eléctrico permite la detección de contrastes, de resistividad entre las capas del subsuelo; supuesto éste estratificado y en disposición subhorizontal; hasta rangos de profundidad que pueden llegar a algunos centenares de metros dependiendo de la distribución de resistividad de los materiales rocosos y de los parámetros característicos de la toma de datos.

Su aplicación al caso que nos ocupa está plenamente justificada en función de las particularidades del modelo geológico, rangos de profundidad a investigar y condiciones topográficas y logísticas en general de la zona de trabajo, que harían muy difícil o casi imposible la aplicación de otras técnicas semejantes como pudieran ser los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV). Una de las ventajas más significativas de los SEDT respecto a los SEV es la mayor focalización de sus medidas lo que para este caso puede ser importante puesto que en el modelo geológico de la zona de estudio cabe esperar cambios laterales en la distribución de las unidades litológicas significativas, lo que conlleva el correspondiente contraste en la distribución de resistividad.

En este caso particular la aplicación de los SEDT en lugar de los SEV está plenamente justificada tanto por los criterios anteriormente expuestos como por las condiciones de la zona de trabajo. En ella la topografía es accidentada y la vegetación muy densa. Por tratarse de un parque natural existen limitaciones para la apertura de accesos o rozas para la extensión de los dispositivos de medida.

Consideramos que el método de los SEDT está suficientemente divulgado tanto en la literatura especializada y al nivel de usuarios como para hacer innecesario extendernos aquí en comentarios respecto a sus fundamentos y características. En este sentido recomendamos como referencia bibliográfica el Capítulo 3 de «Electromagnetics Methods in Applied Geophysics, Vol. 2, part A». Publicado por la Society of Exploration Geophysicists.

4. EQUIPO DE TRABAJO.

4.1. PERSONAL.

Los trabajos descritos en este informe fueron realizados por INTERNATIONAL GEOPHYSICAL TECHNOLOGY, S.A. con intervención del personal de su plantilla que se detalla seguidamente.

- Angel GRANDA.
Ingeniero de Minas. Procesado e interpretación de los datos y redacción del Informe.

- Francisco SOCUELLAMOS.
Operador geofísico. Toma de datos.

- Victor Manuel YAGÜE y Rafael del FRESNO.
Ayudantes. Toma de datos.

Por parte del ITGE la supervisión de los trabajos fue realizada por D. Félix Manuel RUBIO, Ingeniero de Minas del Servicio de Geofísica.

4.2. MEDIOS MATERIALES.

Para la ejecución de las medidas en campo se ha empleado un sistema PROTEM, fabricado por GEONICS LTD, compuesto por los siguientes elementos:

- Receptor PROTEM, compatible con todos los transmisores del sistema.
- Transmisor TEM37 alimentado por un motor generador HONDA 2500 G.
- Transmisor TEM47 alimentado por baterías.
- Bobinas receptoras de baja y alta frecuencia, con un área efectiva de 100 m² y 65 m² para operar con los transmisores TEM37 y TEM47 respectivamente.
- Elementos auxiliares tales como cables de baja resistencia para los bucles transmisores, transceptores, etc.

En el ANEXO 1 incluimos descripción detallada de las especificaciones técnicas de los equipos mencionados, según el fabricante.

Los datos registrados se han procesado mediante computadores PC-486 utilizando el programa TEMIXGL de INTERPEX, cuyas características también incluimos en el ANEXO 1 de este Informe.

5. TRABAJO REALIZADO.

5.1. ENSAYOS PREVIOS.

Al inicio de los trabajos de campo se llevaron a cabo diversos ensayos en zonas donde existe información de sondeos mecánicos. Con estos ensayos se pretendió definir los parámetros operativos más eficientes para la resolución de los objetivos del estudio.

Los ensayos consistieron en la ejecución de trece series de medidas independientes y se realizaron en seis puntos diferentes que coinciden con los emplazamientos de los SEDT números 4, 14, 21, 40, 41 y 42. En ellos se repitieron las medidas con diferentes tamaños del bucle transmisor (50x50 y 100 x100 m) y utilizando los transmisores TEM37 y TEM57 lo que conlleva variaciones significativas en los siguientes parámetros:

- Intensidad de los pulsos de corriente
- Tiempo de corte de los pulsos citados
- Frecuencia de la corriente en el bucle transmisor.

Una vez analizados los datos obtenidos de estos ensayos, especialmente los correspondientes a la zona Norte de Olot donde el nivel de ruido era mayor, se llegó a la conclusión de que la modalidad operativa más eficaz para el rango de profundidad a investigar y considerando las particularidades logísticas de la zona de estudio, era la de bucles de 50x50 m emplazando la bobina receptora a 12 m por fuera del bucle y

registrándose los datos en tres series de medidas correspondientes a frecuencias de 250 Hz, 62.5 Hz y 25 Hz.

5.2. TOMA DE DATOS.

Una vez definida la modalidad operativa más adecuada se llevó a cabo la toma de datos sistemática en los emplazamientos que nos fueron indicados por el ITGE sobre plano topográfico a escala 1/50.000. Durante los trabajos de campo nuestro equipo fue acompañado por personal del Parque Natural con el objeto de facilitar nuestro trabajo, dado su conocimiento de la zona.

Como se ha mencionado previamente, las medidas se realizaron con dispositivo «off-set», es decir situando la bobina receptora por fuera del bucle transmisor, en disposición horizontal para registrar la componente vertical del campo EM transitorio. Los parámetros que definen la forma en que se realizaron las medidas son los que se resumen a continuación.

- * Bucle transmisor ... 50x50 m
- * Intensidad pulsos de corriente ... 3 A
- * Tiempo de corte de los pulsos ... 3 μ s
- * Sincronismo ... Mediante cable de referencia
- * Frecuencia ... Tres series de medidas correspondientes a 250 Hz, 62.5 Hz y 25 Hz.
- * Tiempo de muestreo ... 48 s en cada frecuencia
- * Distribución de las ventanas de lectura según la tabla que se adjunta.

Gate	UH (μ s)	VH (ms)	HI (ms)
1	6.9	.049	.101
2	9.0	.057	.122
3	12.1	.070	.152
4	16.0	.084	.188
5	20.2	.100	.230
6	26.3	.126	.291
7	33.8	.155	.367
8	42.5	.190	.455
9	54.7	.240	.575
10	69.3	.300	.720
11	86	.365	0.88
12	107	.450	1.08
13	138	.580	1.38
14	175	.730	1.75
15	219	.900	2.19
16	280	1.14	2.82
17	354	1.44	3.56
18	441	1.79	4.37
19	561	2.26	5.54
20	707	2.85	7.04

UH - 250 Hz

VH - 62'5 Hz

HI - 25 Hz

TABLA I.- Distribución de las ventanas de lectura.

Con la metodología descrita se midieron 40 SEDT pese a que estaba prevista la medición de 49. La causa por la que no se midieron 9 de los SEDT previstos fue la existencia de un elevado nivel de ruido de tipo industrial bien fuera por la presencia de líneas eléctricas de alta tensión o bien porque algunos de ellos se localizaban muy próximos a la zona urbana de Olot. La posición de los puntos de medida queda reflejada en la Figura 2.

5.3. PROCESADO E INTERPRETACION DE LOS DATOS.

Las medidas registradas corresponden a valores de f.e.m. del campo EM transitorio generado en el subsuelo al interrumpir bruscamente los pulsos de corriente en el bucle transmisor. Este campo EM se mide según una serie de ventanas de tiempo a partir del instante de corte de los pulsos de corriente, estando las lecturas correspondientes a tiempos crecientes influenciadas por los materiales del subsuelo situados a rangos crecientes de profundidad.

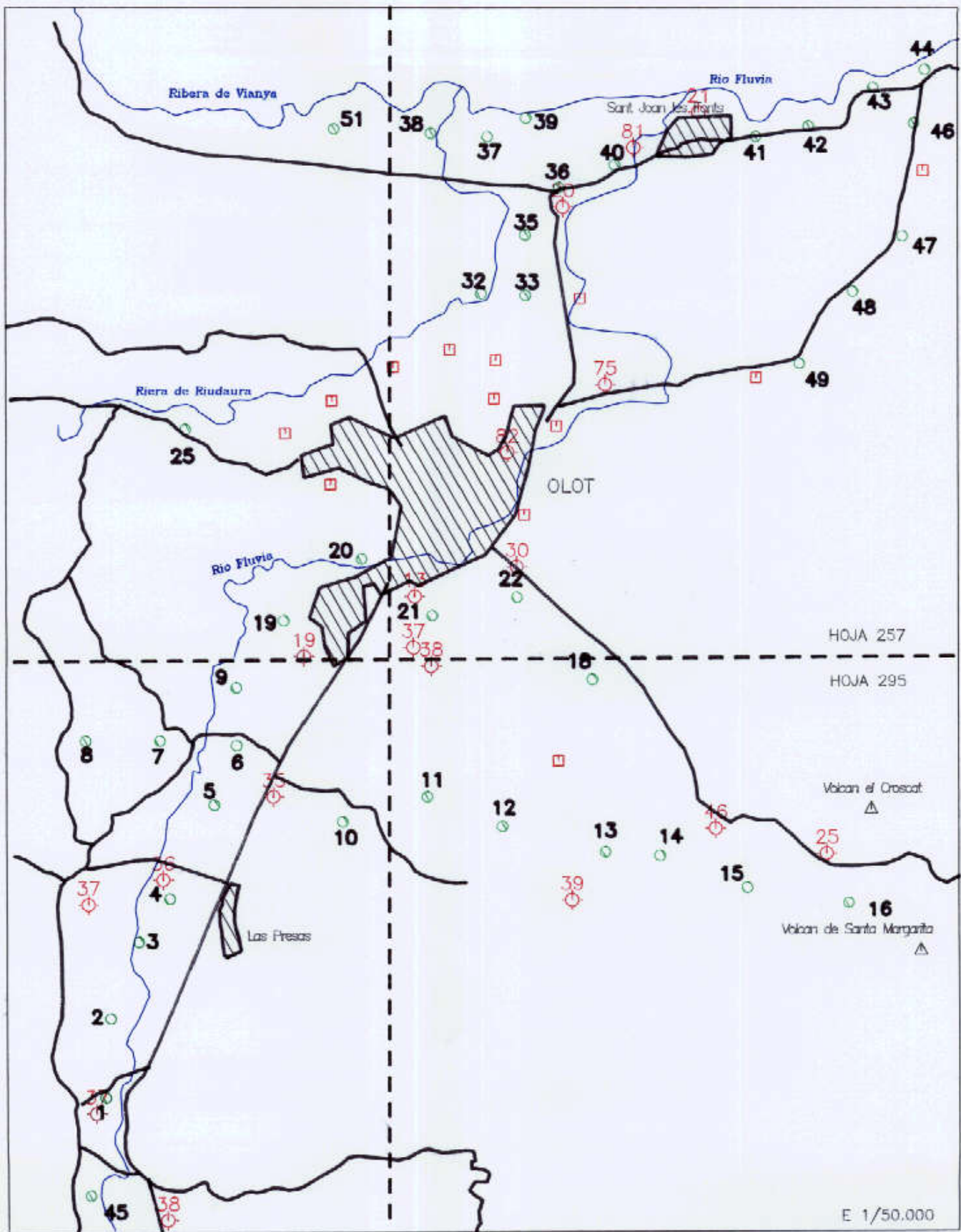
A partir de las series de valores de f.e.m. medidos en función del tiempo se calculan los correspondientes valores de resistividad aparente según la expresión.

$$\rho_a = \mu / (4\pi t) \times (0.4\mu \text{ TxM}/t \text{ dBz}/dt)^{(2/3)}$$

En esta expresión:

$$\mu = 4\pi \times 10^{-7}$$

TxM. momento magnético en el transmisor.



- SEDT medidos
- SEDT previstos y no medidos
- ⊖³⁶ Sondeo mecanico

Figura 2.- Localizacion de los puntos de medida

Representando estos valores de ρ_a en función de t en impresos bilogarítmicos se obtienen las curvas de resistividad aparente, semejantes a las de los SEV, que constituyen el punto de partida para el proceso interpretativo propiamente dicho.

Este proceso tiene por objeto la determinación del espesor y resistividad de cada una de las capas del subsuelo que afectan a las medidas en cada SEDT. Se ha llevado a cabo en dos fases: La primera es de tipo cualitativo y ha consistido en identificar los rasgos significativos de cada curva de resistividad aparente, definiendo el número y características aproximadas de las capas del subsuelo que conforman la sección geoelectrica en ese punto. Para ello se ha tenido en cuenta el esquema geológico general de la zona de estudio y especialmente los datos de los sondeos mecánicos.

La segunda fase es de carácter cuantitativo y se ha realizado mediante modelización e inversión hasta conseguir que la curva teórica de resistividad aparente correspondiente a un determinado modelo geoelectrico coincida sensiblemente con la obtenida en campo en cada punto de medida. Este proceso se ha llevado a cabo utilizando el programa TEMIXGL y sus resultados se incluyen en los listados y gráficos de los ANEXOS 2 y 3.

5.4. DOCUMENTOS DEL ESTUDIO.

Con este informe se incluye toda la documentación significativa resultante de los trabajos realizados, que es la siguiente:

- Archivos digitales OLOT.TMX y OLOT2-TMX que contienen los datos y resultados de la interpretación de cada SEDT en el formato adecuado para su tratamiento con el programa TEMIXGL.
- Archivos OLOTSEDT.DAT. Contiene las coordenadas y cotas de los puntos de medida.
- Archivos *.TEM. Es un archivo ASCII con los datos de cada SEDT.

En el ANEXO 3 del informe se describe el contenido de cada uno de los archivos mencionados.

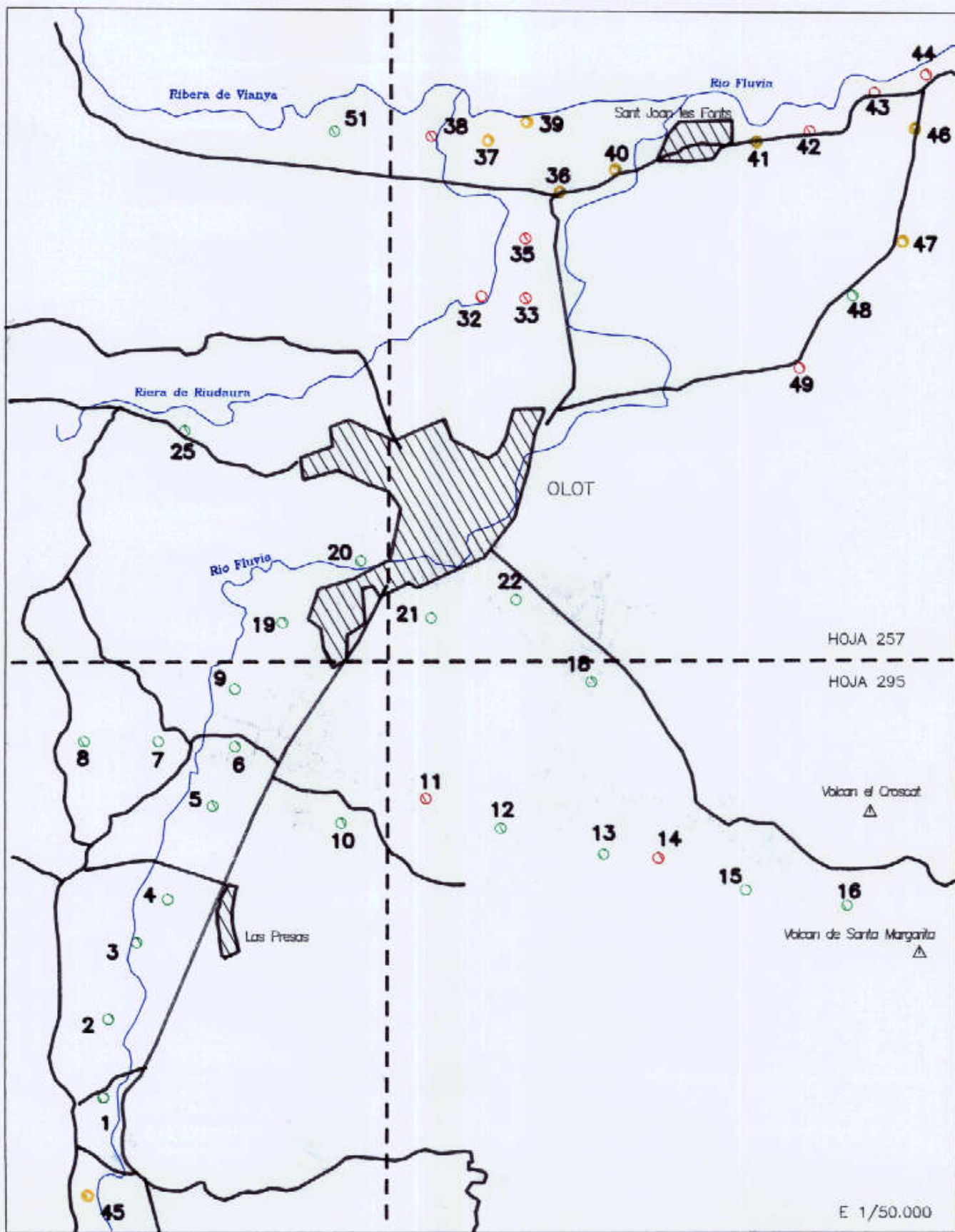
- Gráficos con las curvas de resistividad aparente (teórica y de campo) de cada SEDT así como del modelo adoptado como interpretación del mismo.(ANEXO 2).
- Plano de situación de los puntos de medida a escala 1/50.000 (Figura 2).
- Perfiles o secciones geoelectricas obtenidos al correlacionar los resultados de la interpretación de los diversos SEDT. (Planos 2,3 y 4)

6. RESULTADOS OBTENIDOS.

En primer lugar queremos señalar en este apartado que varios de los SEDT medidos no son interpretables debido a que sus medidas muestran un elevado nivel de ruido. En estos SEDT en lugar de una curva de resistividad aparente los valores medidos conforman una nube de puntos totalmente caótica y sin ningún significado, tal como puede apreciarse en algunos gráficos del ANEXO 1. En la mayoría de estos puntos se comprobó durante la toma de datos la proximidad de líneas eléctricas, sin que fuera factible modificar el emplazamiento del punto de medida.

Aunque la causa principal del ruido en las medidas es la que se ha comentado en el párrafo precedente, también en algún caso ha contribuido a la mala calidad de los datos la combinación de lo anterior con la presencia de niveles superficiales muy resistivos y de considerable espesor. En ese caso el campo EM transitorio se extingue de una forma extraordinariamente rápida de modo que únicamente los primeros canales correspondientes a la frecuencia más alta reflejan la influencia del semiespacio rocoso.

Como puede verse en la Figura 3 la mayoría de los SEDT no interpretables se localizan al Norte de Olot de modo que únicamente cabe elaborar perfiles geoelectricos con los SEDT situados al Sur de la población citada. Así hemos agrupado los resultados de la interpretación en los tres perfiles cuya posición indicamos en la Figura 4.



- SEDT interpretables
- SEDT de mala calidad, interpretables
- ⊘ SEDT no interpretables

Figura 3.- Calidad de los SEDT

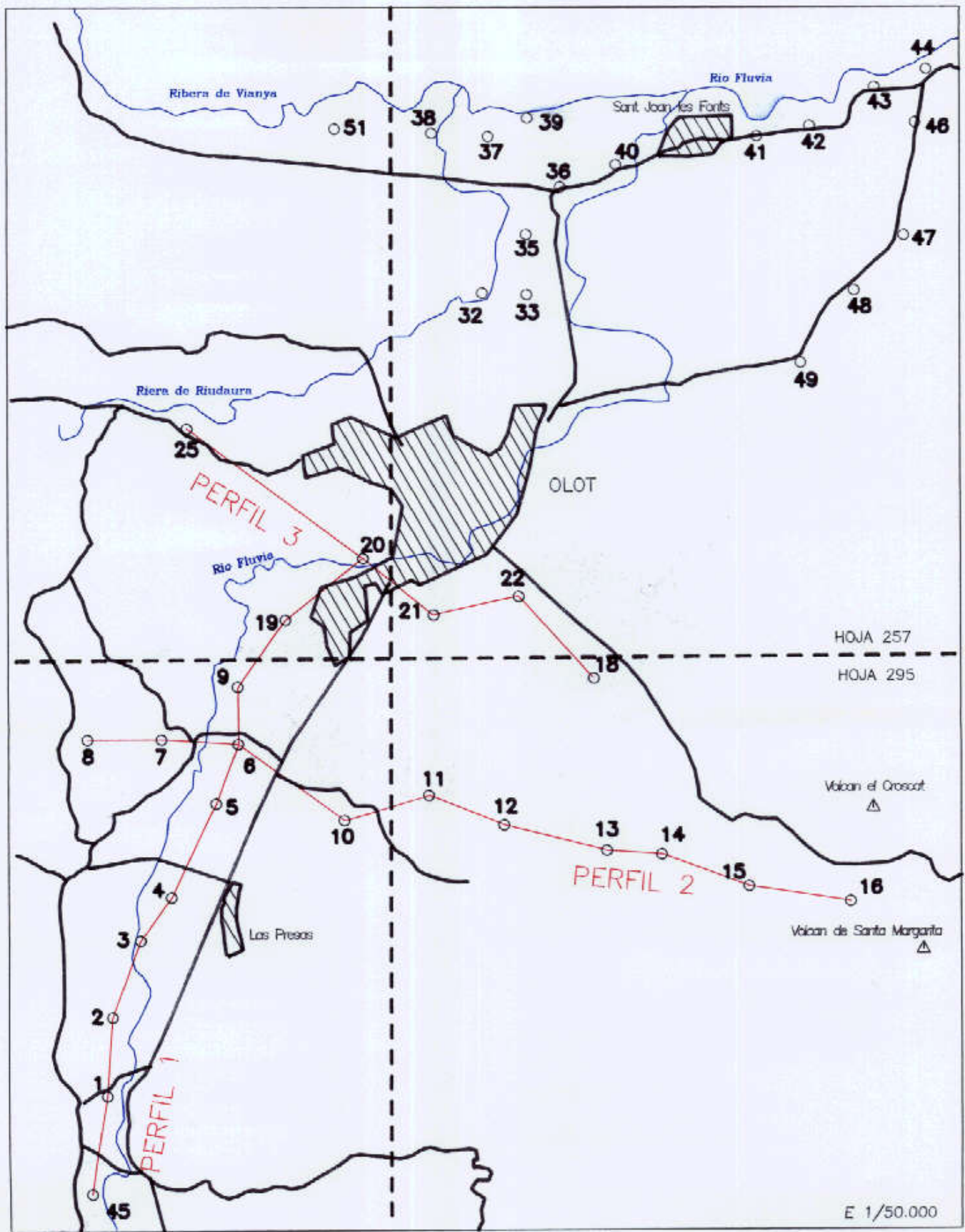


Figura 4.— Distribucion de los SEDT en perfiles

PERFIL nº 1 (Plano nº 2).

Los resultados de este perfil son fácilmente comparables y además concuerdan muy aceptablemente con el corte geológico del Plano 1. En el perfil geoelectrico hemos podido definir en función de sus valores de resistividad la serie de unidades que reseñamos a continuación.

- . **Materiales detríticos finos.**
Se caracterizan por valores de resistividad del orden de 20-30 ohm.m y se distribuyen en posiciones diversas dentro del conjunto Cuaternario, con acusados contrastes laterales.

- . **Materiales detríticos groseros.**
Los valores de resistividad más característicos de esta unidad son del orden de 70-80 ohm.m, aunque pueden variar sensiblemente dependiendo de su contenido en materiales finos de naturaleza arcillosa, llegando hasta 45-50 ohm.m.

- . **Basaltos.**
Como tales identificamos algunas capas de pequeño espesor y extensión lateral cuya resistividad es de algunos centenares de ohm.m. Hemos definido capas de esta naturaleza en los SEDT 6,9 y 19.

- . **Zócalo Eoceno.**
Su resistividad es muy variable, como lo es su naturaleza litológica, si bien la correlación de los

resultados de los SEDT permite establecer un criterio posicional para la definición aceptable del techo de esta unidad. A este respecto el único punto de control es el sondeo nº 36 que coincide con el SEDT-4 en su posición y en la determinación de la profundidad a que se sitúa el zócalo Eoceno.

PERFIL nº 2 (Plano nº 3).

En la mitad occidental de este perfil el modelo geológico que cabe establecer a partir de los resultados de los SEDT es idéntico del Perfil nº 1 y por ello nos remitimos a los comentarios del epígrafe anterior.

Este estilo cambia completamente en su mitad oriental donde predominan los valores muy elevados de resistividad que asociamos a materiales volcánicos. De todos modos es de señalar que la gran distancia que existe entre puntos de medida hace que la correlación de resultados produzca un modelo muy simplista. Este hecho es todavía más acusado en la zona central del perfil donde prácticamente no hay resultados ya que el SEDT 11 es ininterpretable y el 12 no es correlacionable con el situado inmediatamente (aprox. 1 Km) al Este.

PERFIL nº 3 (Plano nº 4).

Los resultados de este perfil son extraordinariamente pobres ya que la gran distancia existente entre los puntos de medida hace que no sean correlacionables los diferentes SEDT que le configuran. Por ello en el Plano nº 4 nos

hemos limitado a reseñar la posible naturaleza de algunas de las capas que consideramos significativas en el SEDT cuya interpretación nos parece fiable.

Además de los SEDT incluidos en los perfiles geoelectricos también se han interpretado otros que hemos catalogado como datos de mala calidad y que se distribuyen predominantemente en el borde Norte de la zona de estudio. Sin pretender detallar su posible significación geológica reseñamos a continuación los resultados obtenidos en ellos. Véanse sus gráficos en el ANEXO 2.

SEDT nº 36.-

De 0 a 21 m ___ 73 ohm.m
 De 21 a 75 m ___ 110 ohm.m
 Más de 75 m ___ 90 ohm.m

SEDT nº 37.-

De 0 a 48 m ___ 129 ohm.m
 De 48 a 78 m ___ 28 ohm.m
 Más de 78 m ___ 125 ohm.m

SEDT nº 39.-

De 0 a 40 m ___ 318 ohm.m
 De 40 a 68 m ___ 35 ohm.m
 Más de 68 m ___ 100 ohm.m

SEDT nº 40.-

De 0 a 14 m ___ 49 ohm.m
 De 14 a 77 m ___ 1590 ohm.m
 Más de 77 m ___ 49 ohm.m

SEDT nº 41.-

De 0 a 5'5 m ___ 197 ohm.m
 De 5'5 a 31 m ___ 41 ohm.m
 Más de 31 m ___ 100 ohm.m

SEDT nº 45.-

De 0 a 90 m ___ 68 ohm.m
 De 90 a 116 m ___ 153 ohm.m
 Más de 116 m ___ 164 ohm.m

SEDT nº 46.-

Resistividad de unos 200 ohm.m sin poder precisar contactos entre capas con valores diferentes del mencionado.

SEDT nº 47.-

De 0 a 4 m ___ 21 ohm.m
 De 4 a 57 m ___ 465 ohm.m
 Más de 57 m ___ 27 ohm.m

7. CONCLUSIONES.

A la vista de los resultados obtenidos en este reconocimiento geofísico cabe establecer las siguientes conclusiones.

- a) El estudio ha resultado incompleto ya que algunos de los SEDT medidos son ininterpretables por causas ajenas a las operaciones propias de la toma de datos. De modo general estos SEDT se localizan en el borde Norte del área de trabajo y sus medidas están afectadas por influencias externas (ruido industrial) producidas principalmente por líneas o instalaciones eléctricas.

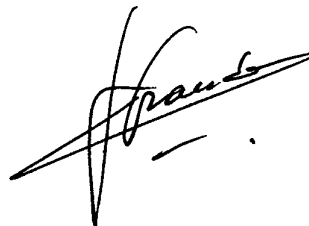
- b) En la zona situada al Sur de Olot los SEDT medidos han podido interpretarse de forma coherente si se comparan sus resultados con la información obtenida de los sondeos mecánicos. En varios de estos SEDT y en los perfiles geoelectricos elaborados a partir de sus resultados se definen unidades con diferentes valores de resistividad que fácilmente pueden asociarse a los términos litológicos significativos: Detrítico grosero, detrítico fino, basaltos y zócalo Eoceno. La correlación de estos resultados con los datos de los sondeos mecánicos es muy aceptable.

- c) Pese a que la interpretación de los SEDT es coherente con el modelo geológico, algunos perfiles geoelectricos presentan zonas con un notable grado de indefinición debido a que la distancia entre puntos de medida es muy grande. Este hecho imposibilita una correlación aceptable de resultados cuando existen cambios laterales en la

distribución de los materiales del subsuelo y en sus correspondientes valores de resistividad aparente.

- d) Pese a que los contrastes de resistividad entre las unidades litológicas más significativas parecen ser acusados, en ninguno de los SEDT hemos podido diferenciar el nivel detrítico inferior. Ello puede deberse a que no exista como tal unidad en la zona donde hemos realizado nuestras medidas interpretables o bien porque no llegue a definirse como una unidad independiente debido a su reducido espesor (en términos relativos a la profundidad a que se localiza) o debido a que el contraste de resistividad con la correspondiente al zócalo Eoceno sea pequeño.
- e) Como conclusión general cabe afirmar que si bien el método de los SEDT en la variante empleada en este caso resulta efectivo para la resolución de los objetivos del estudio, las dificultades propias de la zona (ruido industrial, problemas logísticos para emplazar el dispositivo de medida en las zonas donde sería deseable, etc) han influido limitando la obtención de mejores resultados.

Madrid, Abril - 94



Fdo.: Angel GRANDA
Ingeniero de Minas.

ANEXO 1.

CARACTERISTICAS DEL EQUIPO EMPLEADO.



RECEPTOR PROTEM

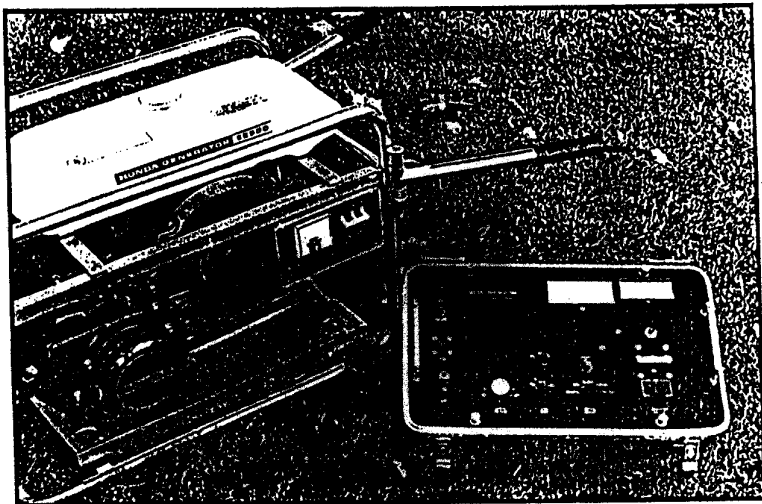
Es bien sabido que existe cierta incompatibilidad entre la profundidad de exploración y la resolución de los objetivos en términos de conductividad, extensión y orientación. La mayor profundidad se obtiene operando con bucles fijos de gran tamaño en la modalidad TURAM que generan amplias respuestas del semiespacio rocoso lo que junto con los efectos de canalización hacen difícil a veces la detección del objetivo. Una mejor definición espacial puede obtenerse con un transmisor móvil con pequeño espaciado entre las bobinas, pero esta modalidad se limita a zonas donde se requiere poca profundidad de exploración. Estas variaciones en los requisitos de las diversas prospecciones hacen que la flexibilidad de este sistema sea una importante consideración su diseño.

Los sistemas de dominio de tiempo son habitualmente utilizados tanto para la exploración geológica en general como para la prospección de acuíferos en fracturas de las rocas y para los estudios de contaminación de las aguas subterráneas. La ejecución de este tipo de estudios a profundidades someras requiere el empleo de equipos que operan en un amplio espectro de frecuencias con muestreos de mucho detalle.

De acuerdo con estos requisitos GEONICS desarrolló el sistema PROTEM de dominio de tiempos que se caracteriza por su extraordinaria flexibilidad. El receptor digital de 3 canales se puede utilizar con cualquiera de los 3 transmisores o cualquiera de las bobinas receptoras para cubrir cualquier aplicación. Con su resolución de 23 bits, amplitud de banda de 500 KHz, ventanas de medidas de microsegundos y medidas simultáneas de tres componentes (XYZ), el receptor PROTEM representa la tecnología EM más completa y capaz en el dominio de tiempos. Empleado con la bobina de 3 componentes de GEONICS, este sistema permite una gran rapidez de operación en los trabajos de campo con independencia del tipo de configuración que se utilice. La medida simultánea de las tres componentes también permite una evaluación rápida y precisa de los datos geoelectrónicos en la modalidad de sondeo para determinar posibles variaciones laterales de conductividad, que podrían afectar y desvirtuar la interpretación basada en modelos de capas planas.

Especificaciones

MAGNITUD MEDIDAS:	Extinción del campo magnético inducido según 3 ejes, en mV/m ² .
SENSOR:	Bobinas con núcleo de aire o de ferrita.
CANALES:	3 canales en paralelo o secuenciales.
VENTANAS DE LECTURA:	20, espaciadas geométricamente, de 6µs a 800 ms.
RANGO DINÁMICO:	23 bits (132 dB).
FRECUENCIA:	0'3, 0'75, 3, 7'5, 30, 75 y 285 Hz ó 0'25, 0'625, 2'5, 6'25, 25, 62'5 y 262'5 Hz.
TIEMPO DE INTEGRACIÓN:	2, 4, 8, 15, 30, 60, 120 ó 240 s.
PANTALLA:	Cristal líquido de 240 x 64 puntos.
MANEJO DE DATOS:	Memoria sólida para 3300 registros con dispositivo de salida RS-232.
SINCRONIZACIÓN:	Cable de referencia o cristal de cuarzo.
FUENTE DE ALIMENTACIÓN:	Pilas recargables de 12 V para 8 h de funcionamiento.
DIMENSIONES:	34 x 38 x 27 cm.
PESO:	13 Kg.



TRANSMISOR TEM-37

El TEM37 es el transmisor más potente empleado con el receptor PROTEM, formando las bases del sistema PROTEM 37 (antes EM37-3). El sistema PROTEM 37 puede utilizarse para realizar sondeos eléctricos hasta profundidades del orden de 1 Km o para la detección de conductores a varios centenares de metros de profundidad al operar con bucle fijo de gran tamaño.

El transmisor y el receptor en un sistema PROTEM 37 están equipados con cristales de cuarzo para su sincronización aunque también se puede utilizar un cable de referencia si la separación entre receptor y transmisor es menor de 200 m. El TEM37 se alimenta con un motor-generador especial, que puede energizar bucles de hasta 2000 x 2000 m.

El PROTEM 37 se utiliza en medidas sobre perfiles para la detección de conductores metálicos situados profundos, lo que hace del sistema una de las principales herramientas o utensilios para la exploración minera.

Tanto la bobina receptora 3-D como la sonda BH43 para medidas en sondeos se emplean normalmente con el sistema PROTEM 37, que también se emplea ampliamente para sondeos profundos de exploración de aguas subterráneas, detección de intrusiones salinas y para la exploración geotérmica, así como para estudios geológicos regionales en los que se pueden detectar estructuras y estratos a profundidades superiores a 1000 m.

Especificaciones

TIPO DE CORRIENTE:	Bipolar rectangular con 50% de ciclo activo.
FRECUENCIA:	3, 7'5 ó 30 Hz en países con corriente de 60 Hz. 2'5, 5 ó 25 Hz en países con corriente de 50 Hz.
TIEMPO DE CORTE:	De 20 a 750 μ s, depende del tamaño, la corriente y el número de vueltas del bucle transmisor.
BUCLE TRANSMISOR:	Resistencia mínima = 0'67 ohm.m hasta 2000 x 2000 m.
CORRIENTE DE SALIDA:	30 A máximo.
TENSIÓN DE SALIDA:	28,40,44,80,110 ó 160 V.
SINCRONIZACIÓN:	Cristal de cuarzo, u opcionalmente cable de referencia.
MOTOR GENERADOR:	2800 W, 120 V, 400 Hz, 3 fases, con 8 horas de funcionamiento continuo con el depósito lleno de combustible.
PROTECCIÓN DEL TRANSMISOR:	Protección electrónica y electromecánica contra cortocircuitos.
CABLE PARA EL BUCLE TRANSMISOR:	Cobre AWG# 10, aislado con PVC.
TAMAÑO DEL TRANSMISOR:	43 x 27 x 40 cm.
PESO:	20 Kg.
TAMAÑO DEL MOTOR GENERADOR:	74 x 44 x 51 cm.
PESO:	66 Kg.

TRANSIENT ELECTROMAGNETICS

TEMIX GL v3
TEMIX PL v3
TEMIX 47 v3
TEMIX Z v3
TEMIX S v3

Interpex offers five software tools that interpret electromagnetic sounding data taken with the transient electromagnetic (TEM) method. These tools belong to the TEMIX family of productivity software. These software packages allows for the forward and inverse modeling of TEM data acquired in term of 1-D sounding curves.

All packages in the TEMIX family produce forward and inverse models in terms of layered earth models using transient EM data. Temix family members differ with respect to the instruments that are used to acquire data and to the features available within the specific package.

Mathematical basis

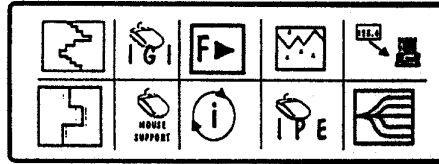
NOTE: All Transient EM Interpretation programs require a math coprocessor.

TEMIX computes the forward model using an Anderson style digital filtering technique to carry out the Hankel and Fourier transforms. Fitterman-Anderson style integrations account for the ramp time. Rather than removing effects from the observed data, TEMIX takes the calculated curves and applies corrections for previous pulse (also known as run-on) and ramp turn-off time.

The inversion process uses the Inman style ridge regression approach of nonlinear least squares curve fitting.

Prior to inversion, you may constrain parameters of the starting model so that they will not be adjusted by the inversion algorithm or so that their adjustment is limited.

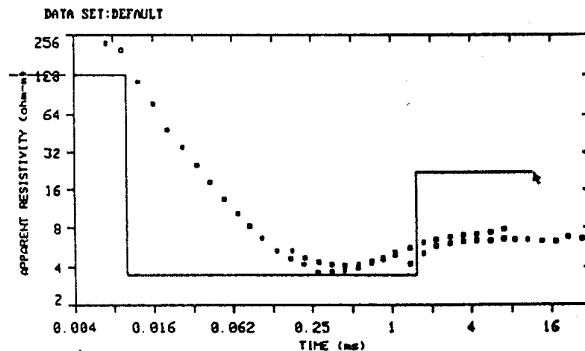
TEMIX Family Features



The TEMIX family is a group of interactive, graphically oriented, forward and inverse modeling programs for interpreting transient electromagnetic (TEM) data in terms of a layered earth (1-D) model. Each different TEMIX program is specifically designed to accommodate the data reduction techniques required for a specific instrument or group of instruments. The TEMIX programs and their related EM instruments are listed below.

TEMIX GL	(for Geonics instruments)
TEMIX 47	(for Geonics instruments)
TEMIX S	(for SIROTEM instruments)
TEMIX Z	(for Zonge Engineering instruments)
TEMIX PL	(for Phoenix instruments)

The TEMIX programs function similarly. Each TEMIX family member has features that are customized to operate with the specific collection instrument associated with the program.



Click mouse at resistivity and bottom of next layer RES: 22.2414 DEPTH: 162.018
 Add Layer Back up Quit entering
 LAYER 8:
 RESIST.: 120.363 3.4487 22.2414
 DEPTH: 17.6591 50.8637 162.018

Processing screen from TEMIX GL showing interactive model construction and three overlapping sounding segments.

Sounding curves are entered as a function of time. Where applicable, interactive worksheets are provided for reducing the measurements taken directly from the respective instruments. The output, in terms of normalized received voltage versus time, interfaces directly with the rest of the program, and is transparent to the user.

Forward modeling allows the user to calculate a synthetic electromagnetic sounding curve for a model with up to ten plane layers. Electromagnetic sounding curves are calculated using filters designed by Anderson, 1979 (USGS Open File Report 79-590). The forward modeling routines have been optimized to provide great computational speed and increased accuracy. Forward modeling calculations use an equivalent dipole approximation after Stoyer, 1990. (Geophysical Prospecting, 38, 87-99)

Model parameters (resistivities and depths or thicknesses) can be entered numerically or graphically. With graphical entry, TEMIX automatically performs conversions between time and depth using the average conductivity of the model and the diffusion depth formula.

Ramp times are accounted for by convolving the turn-off ramp with the synthetic curve for the specific layered model as described by Fitterman and Anderson (1987).

Run-on, the influence of previous turn-on and turn-off cycles in the transmitter wave train, is accounted for by summing the transient voltage from delayed pulses, according to the user's specification.

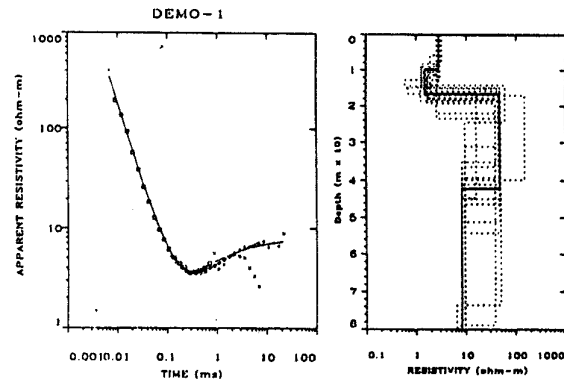
Inverse modeling allows you to obtain a model that best fits the data in a least squares sense. This is done using ridge regression (Inman, 1975, Geophysics, 40, pp 798-817) to iteratively adjust the parameters of a starting model supplied by the user. You can constrain some of the starting model parameters so the inversion will not adjust them. Starting models for inversion can have up to 8 layers. Forward models can have as many as 10 layers. Constraints can be applied by fixing (or freezing) a parameter, or by imposing limits on a parameter.

Masking enables the user to keep "bad" or unwanted data points as part of the data set, while excluding them from Forward (percent error) and Inverse calculations.

Suites of forward models, for which field recording or model parameters are varied, enable you to clearly see the effect of such variations on the sounding curve.

Equivalence analysis enables you to generate a set of equivalent models, that is, alternative models that fit the data nearly as well as the best-fit model, but differ from

this model. Equivalence analysis is done by using the parameter resolution matrix to show the linear combinations of model parameters that are unknown. Also, the forward calculations for each model are used; these are selected to determine the extent to which modifications to the model can be made according to these guidelines without exceeding a user-specified error. Equivalence analysis also indicates the allowable range of each of the model parameters.



Plot from TEMIX GL showing equivalent models and calculated results.

In addition it features the smooth model inversion by inverting constant thickness layers to obtain a quasi-continuous model.

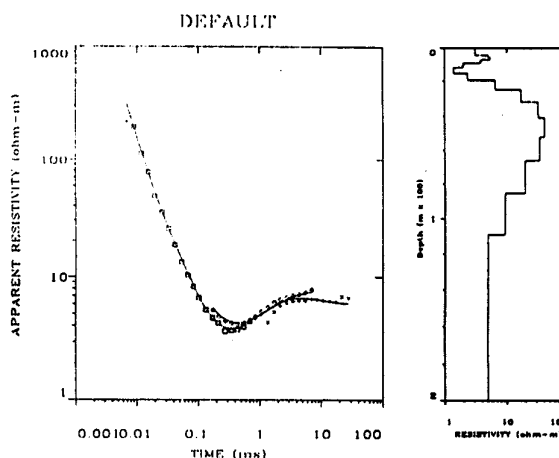
A new binary data base format enables up to 200 soundings to be stored in a single, variable-size data base file. You can view and plot the survey field geometry. A translation program converts old binary file formats to the new data base format.

TEMIX provides several options to present the observed data, the theoretical (forward) data, and the geological model section used to calculate the forward response. This information can be graphically presented in a plate-style format or individually on a dot matrix printer, a laser printer, or a pen plotter. The programs provide the option to annotate the model section with text labels. The user can also print the data and model section in a tabulated, paginated form directly to a text printer.

All members in the TEMIX family of software provides features customized to the collection instrument associated with the program. Modules such as customized spreadsheets and data logger interfaces allow the TEMIX programs to accommodate a wide range of collection

hardware.

TEMIX is now completely mouse driven. All menu commands can be accessed with the mouse. Interactive model input via the mouse allows the user to see changes in the calculated curve as he enters or changes the model (times are automatically converted to depths). Graphic entities of the plate output may also be resized and positioned using the mouse. Masking and unmasking of points are also done in the interactive mode with the mouse.



Example graphics from TEMIX GL showing the smooth model.

The table below is a guide to program selection guide based on type of equipment used and survey parameters. All programs in this series are functionally the same but differ in data logger interface.

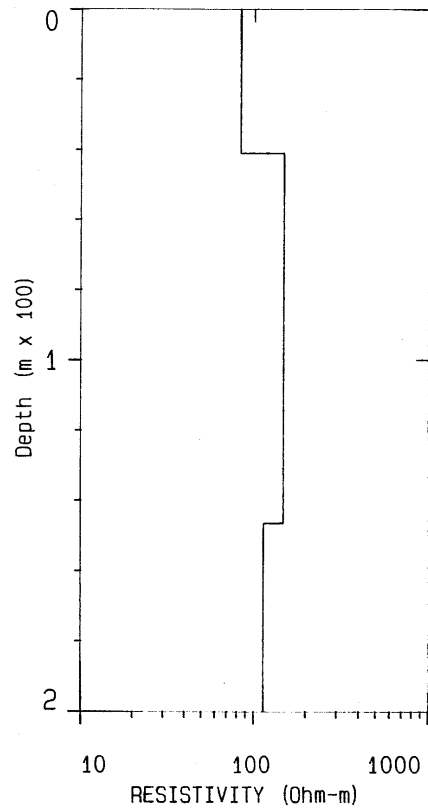
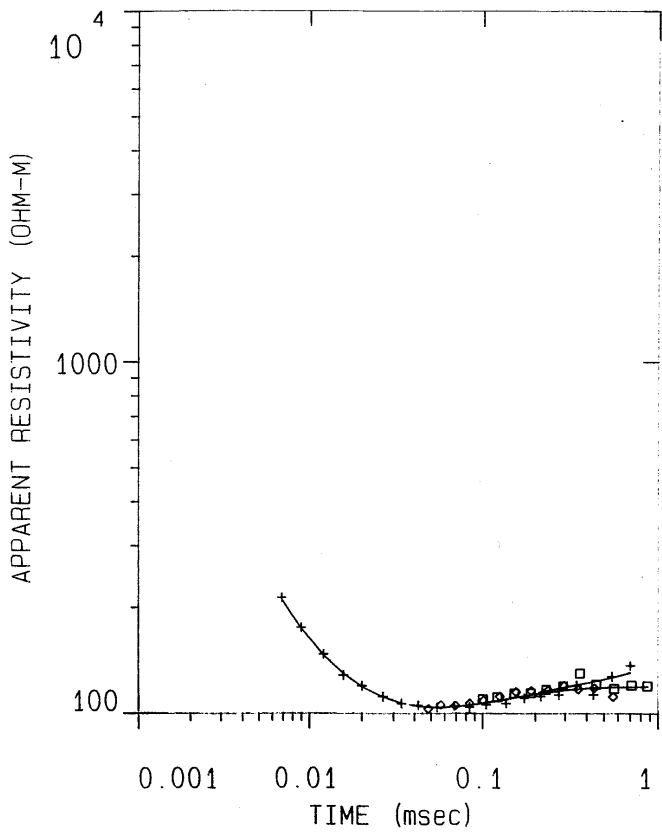
TEMIX PROGRAM SPECIFICATION TABLE

	TEMIX 47 v3	TEMIX GL v3	TEMIX PL v3	TEMIX Z v3	TEMIX S v3
IN LOOP	X	X	X	X	X
CENTRAL LOOP	X	X	X	X	X
LOOP LOOP (SLINGRAM)	X	X	X	X	X
LARGE LOOP	X	X	X	X	X
COINCIDENT LOOP					X
EQUIPMENT SUPPORT	Geonics Ltd EM 47	Geonics Ltd All systems	Phoenix Geophysics V5	Zonge GDP 12 GDP 16 and 32	SIROTEM
PLATE OUTPUT		X	X	X	X
SMOOTH INVERSION		X	X	X	X
MODEL SUITES		X	X	X	X

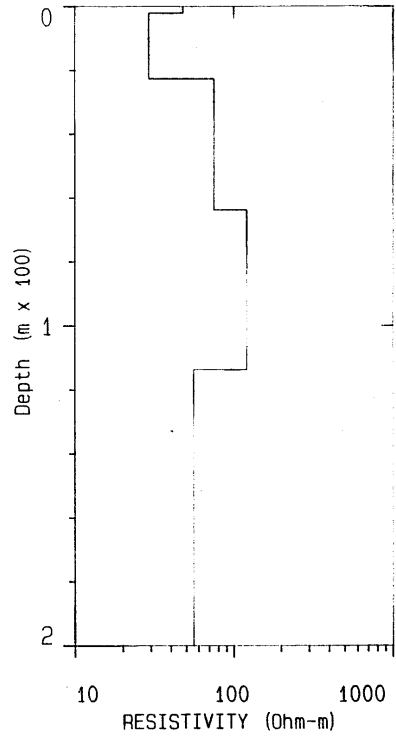
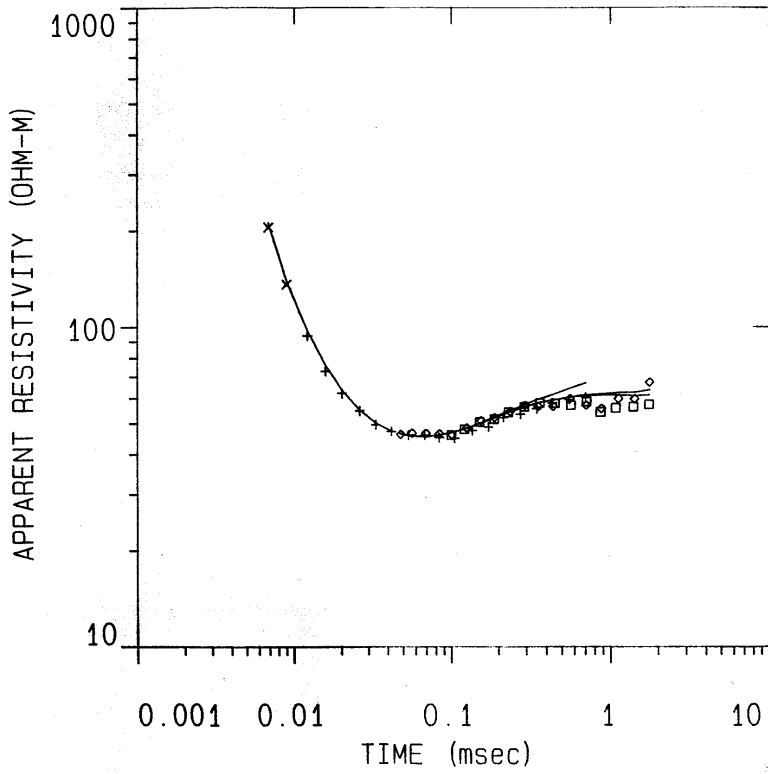
ANEXO 2.

CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE Y SU INTERPRETACION

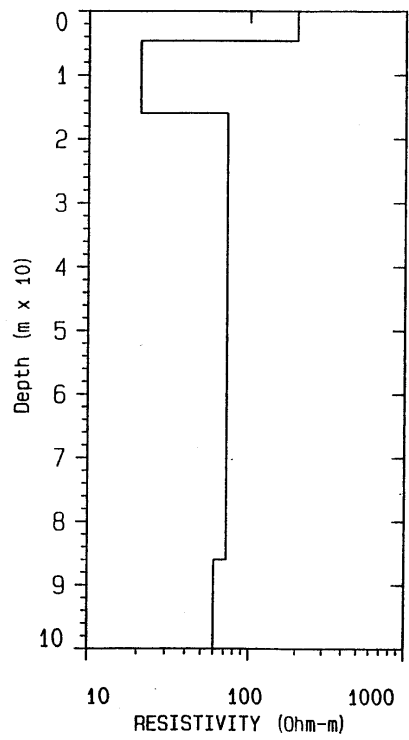
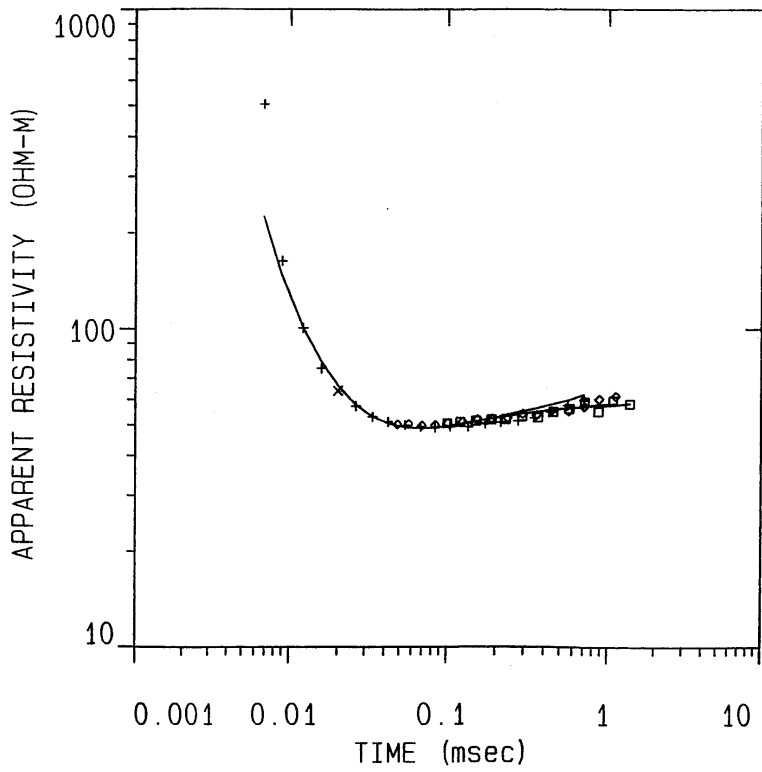
1



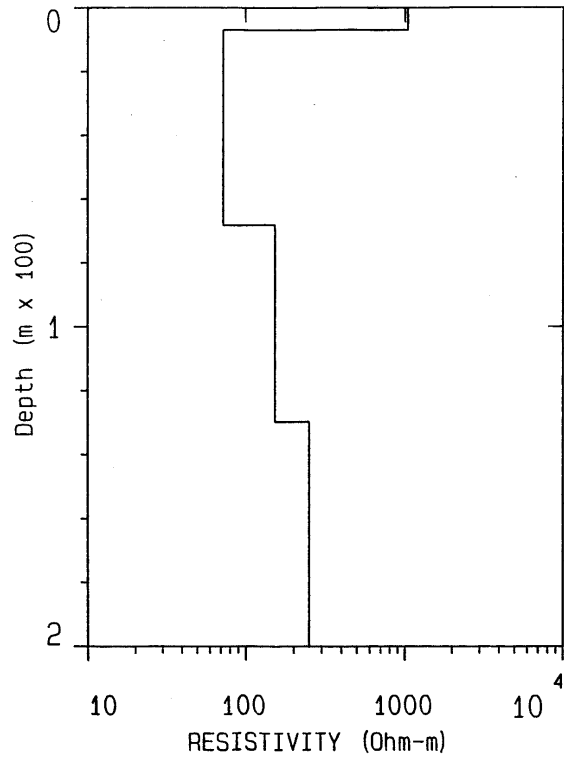
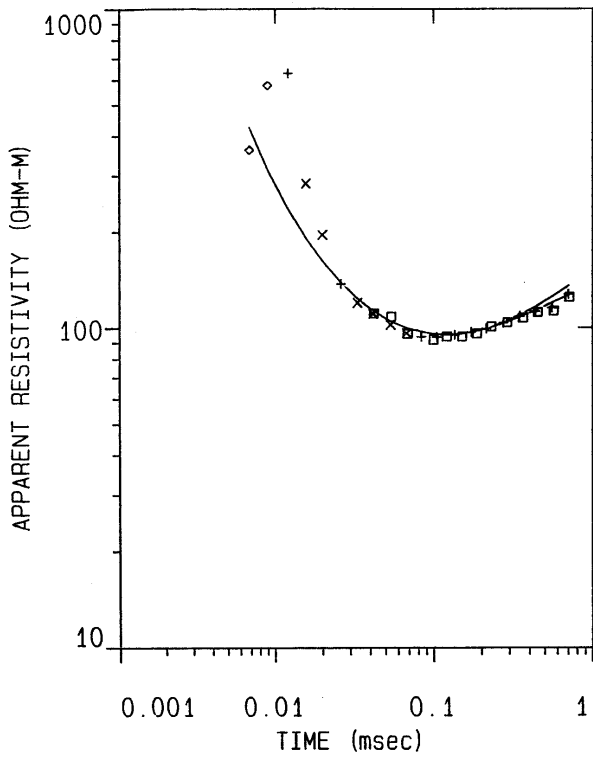
2



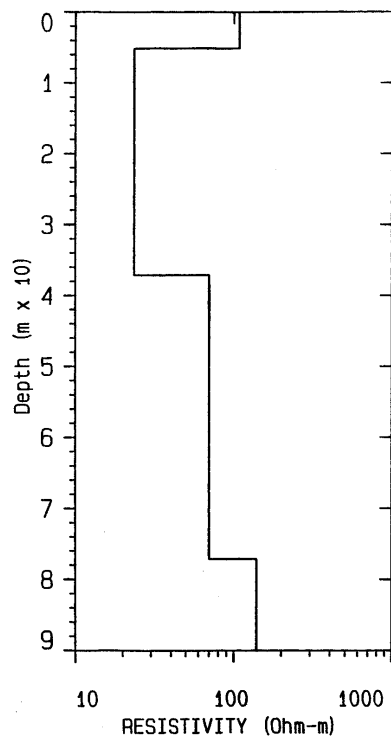
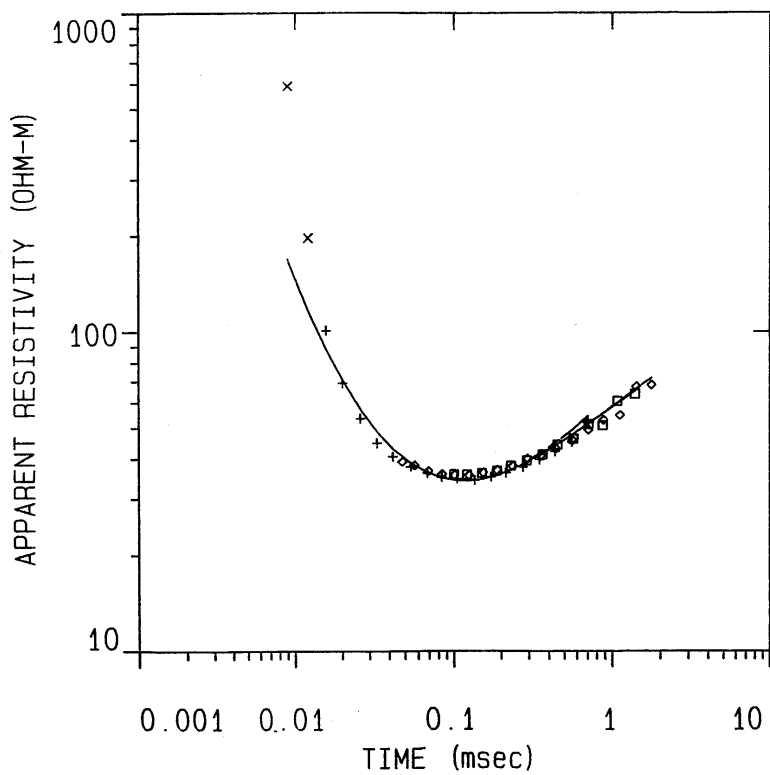
3

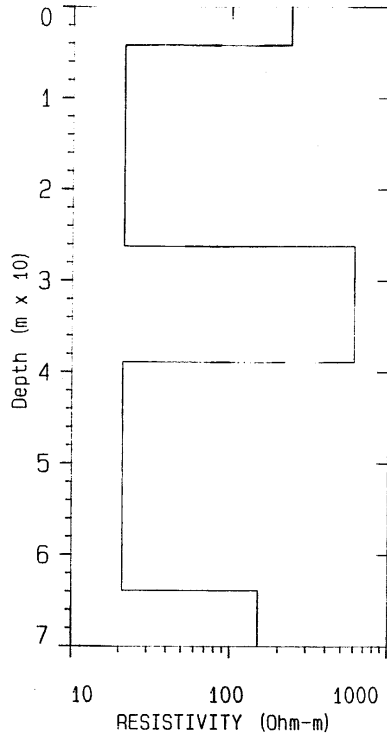
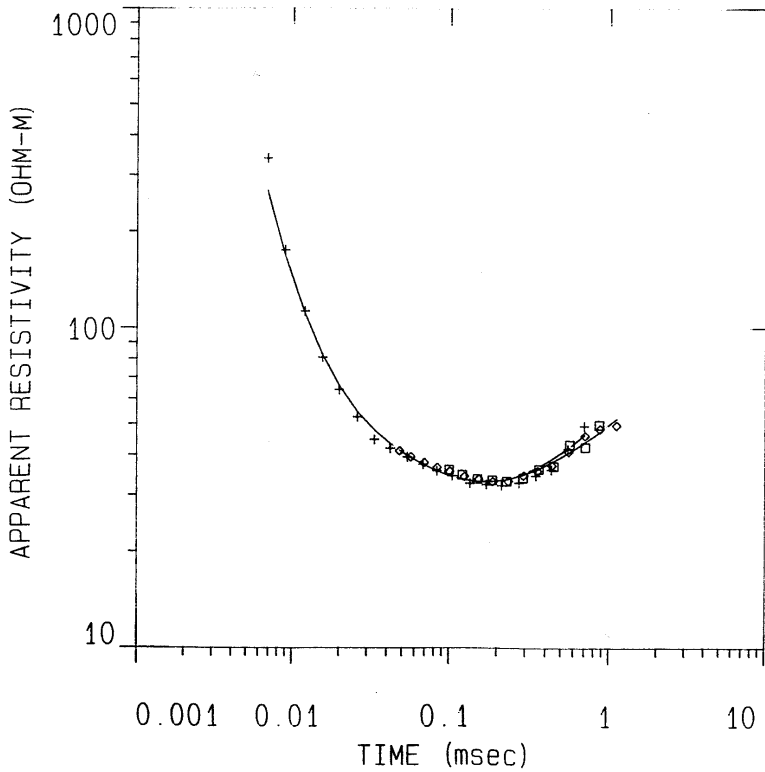


4

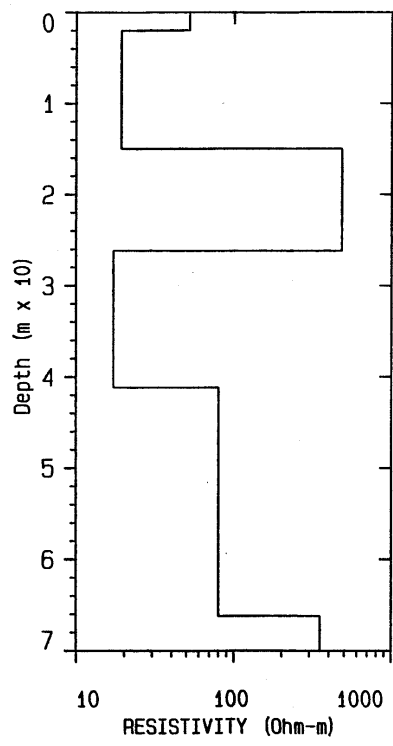
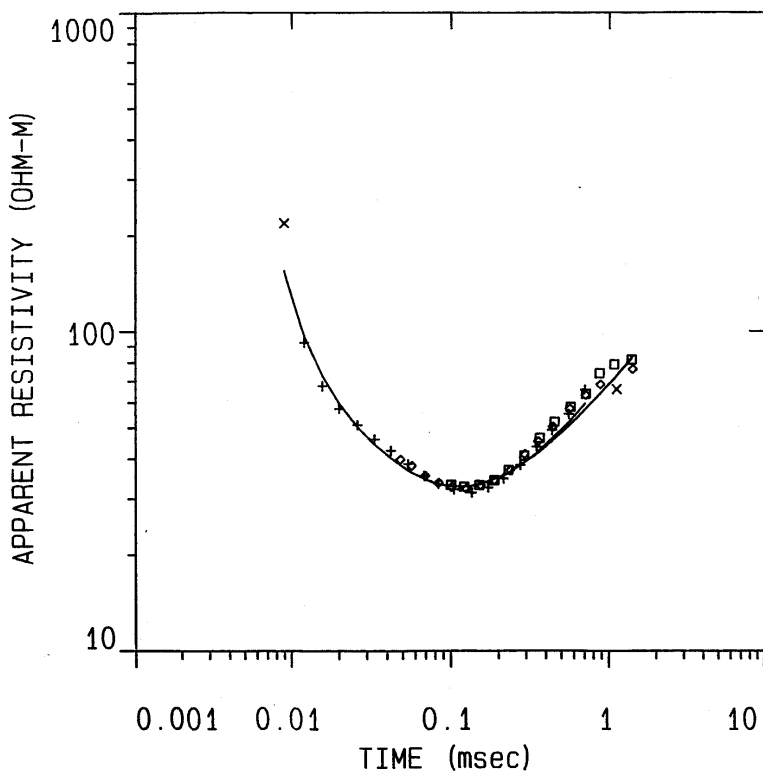


5

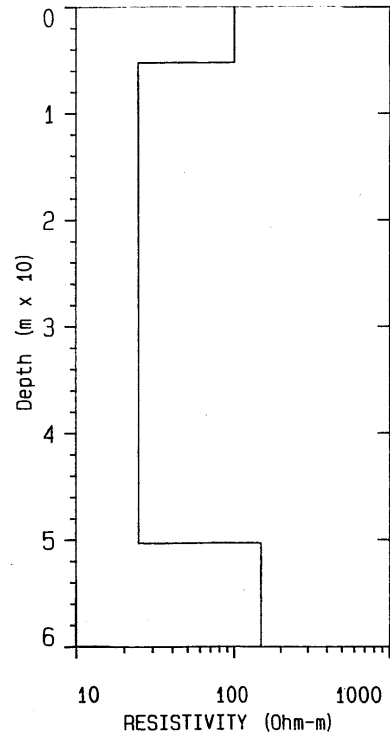
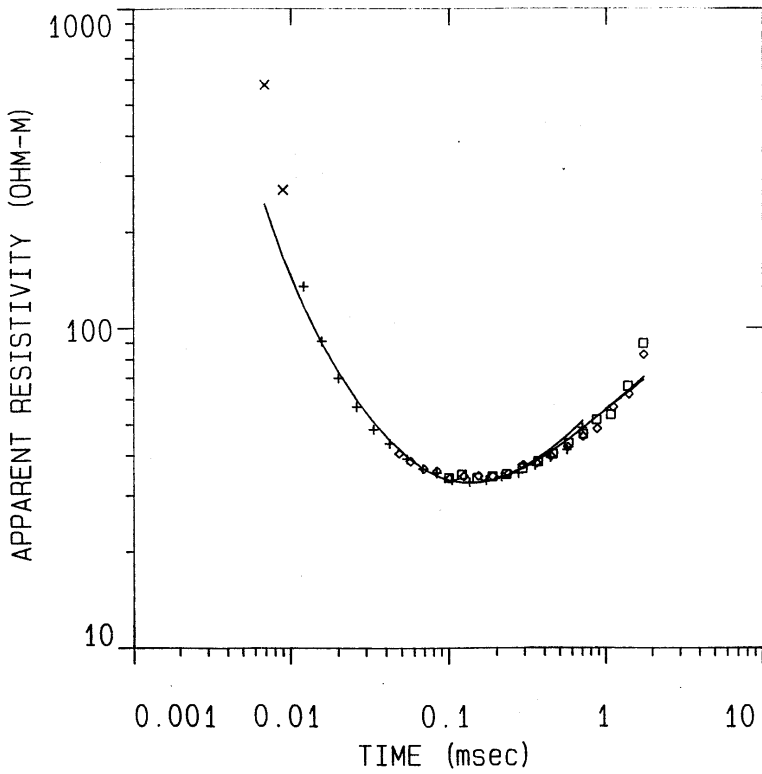




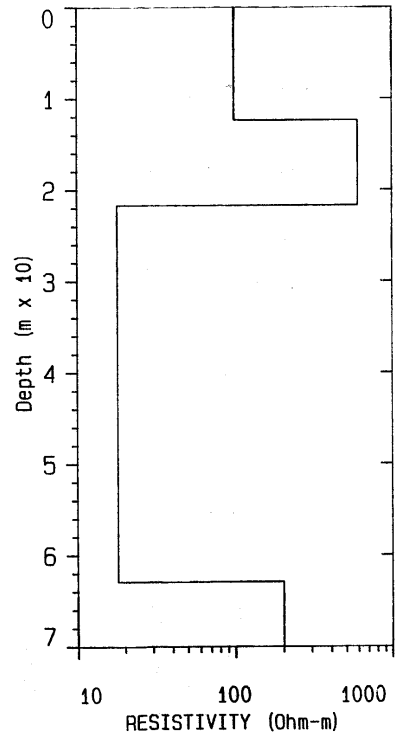
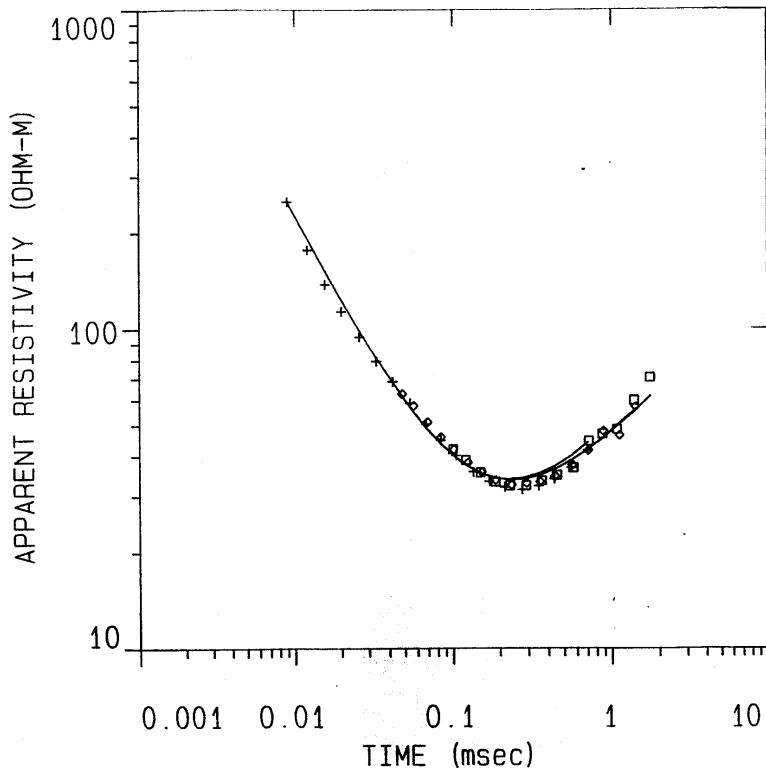
7



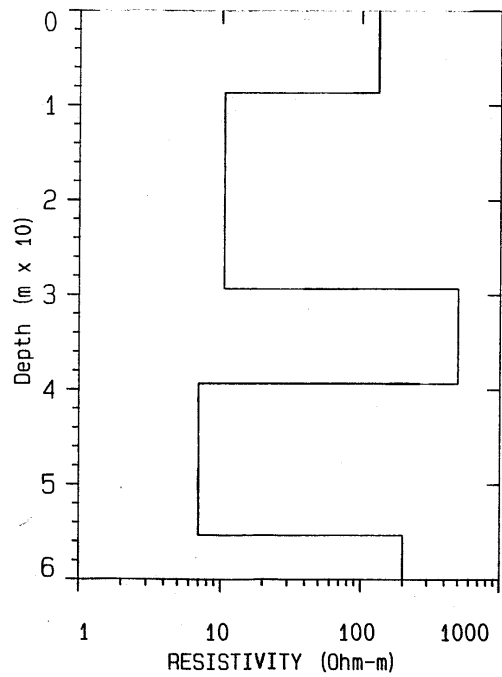
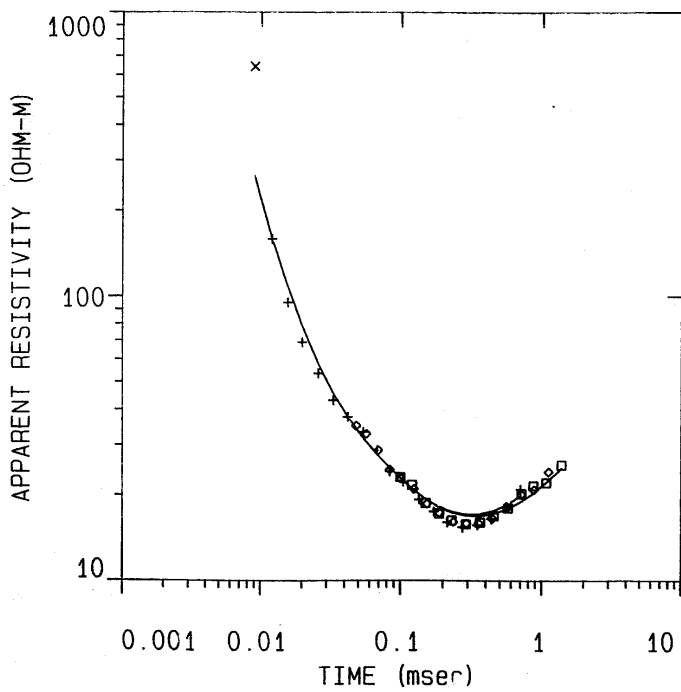
8



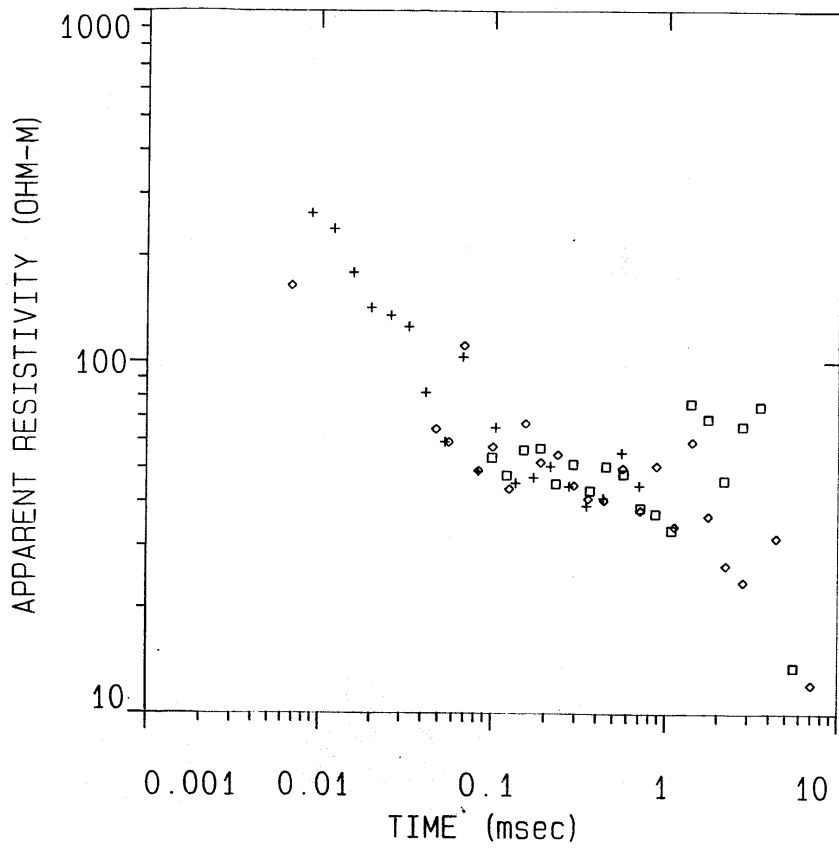
9

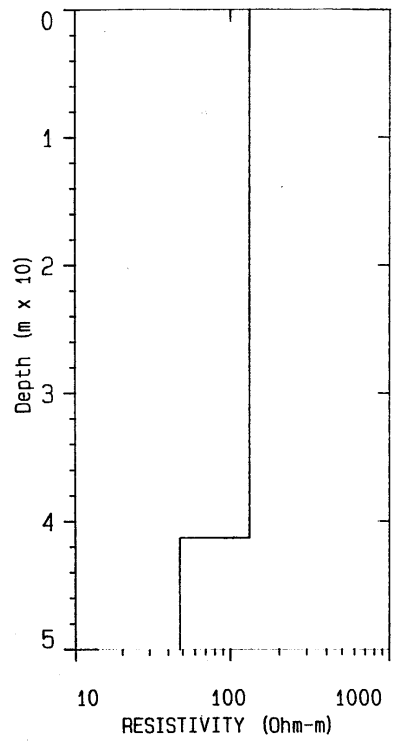
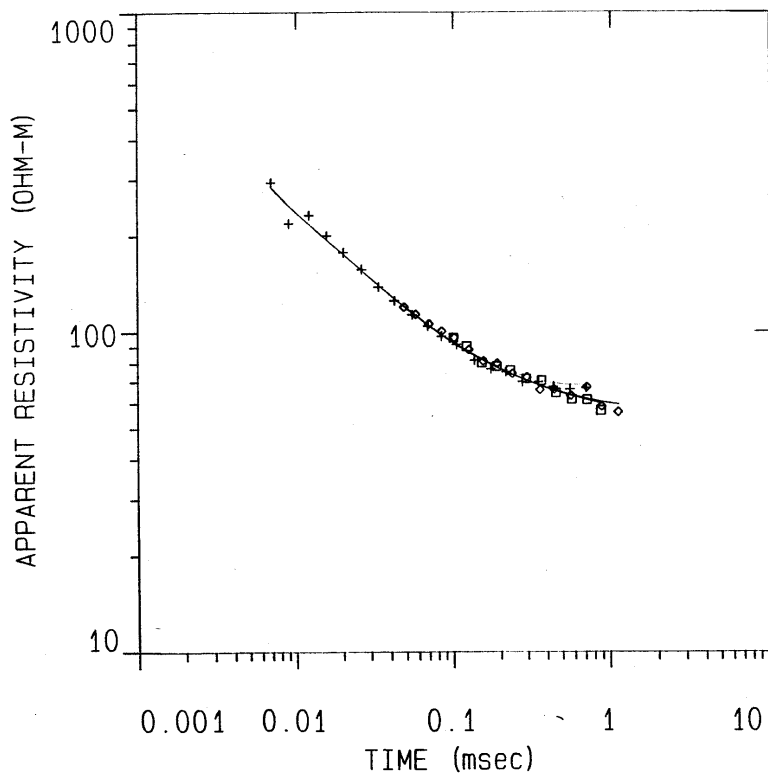


10

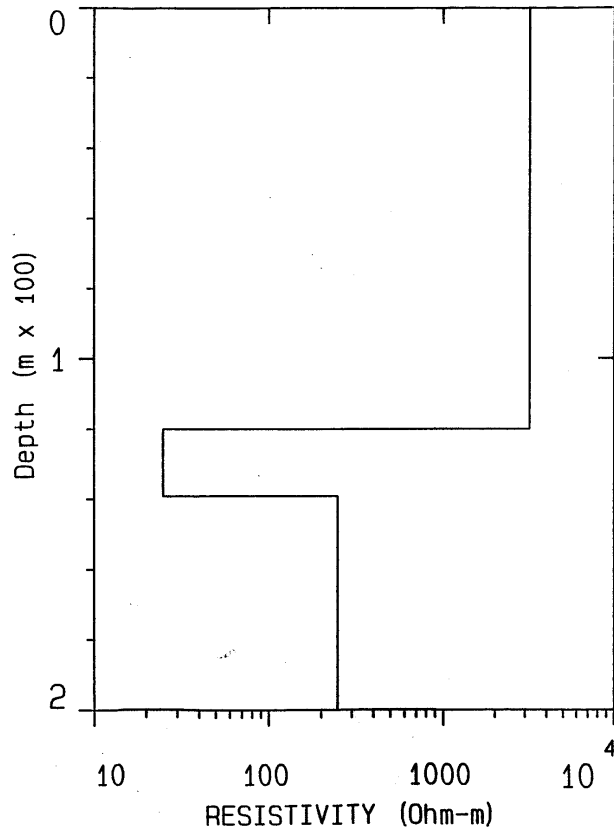
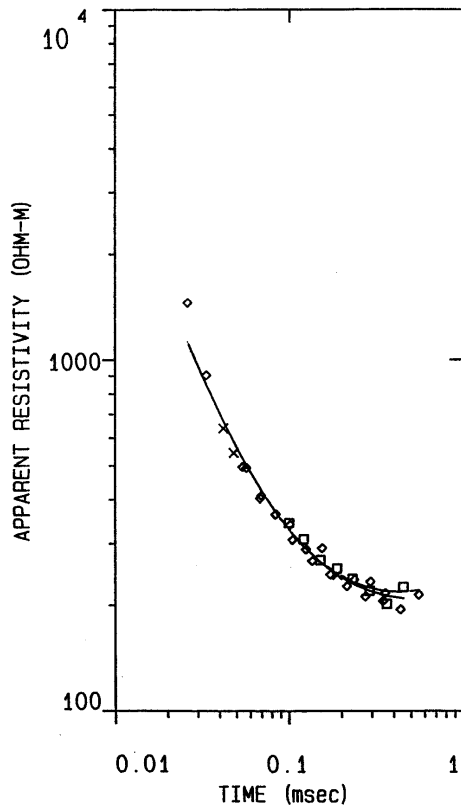


11

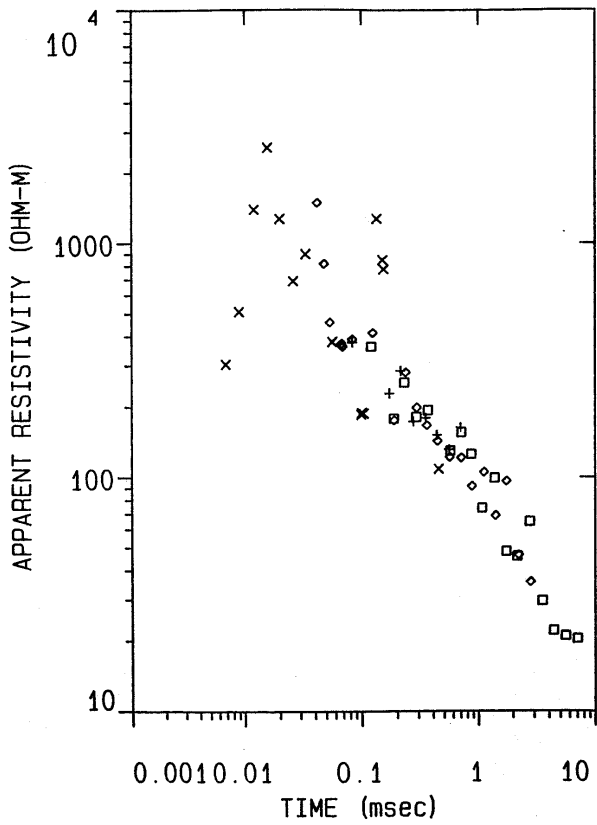


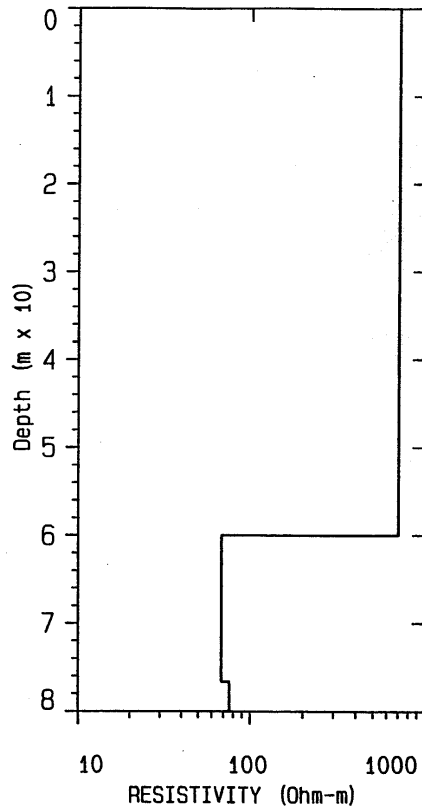
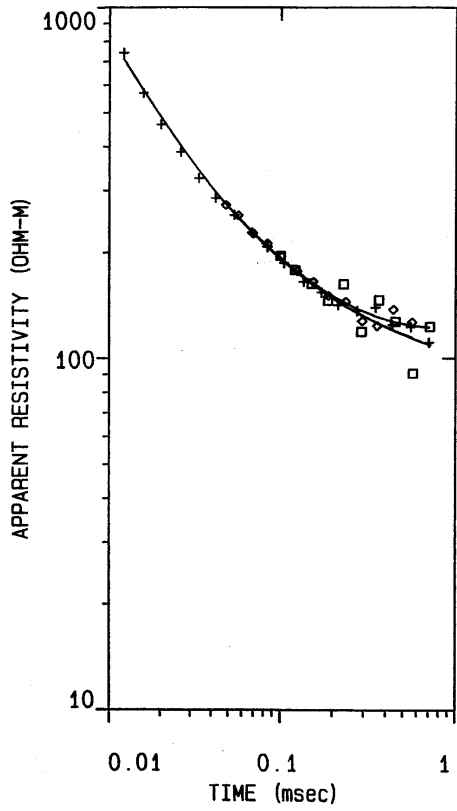


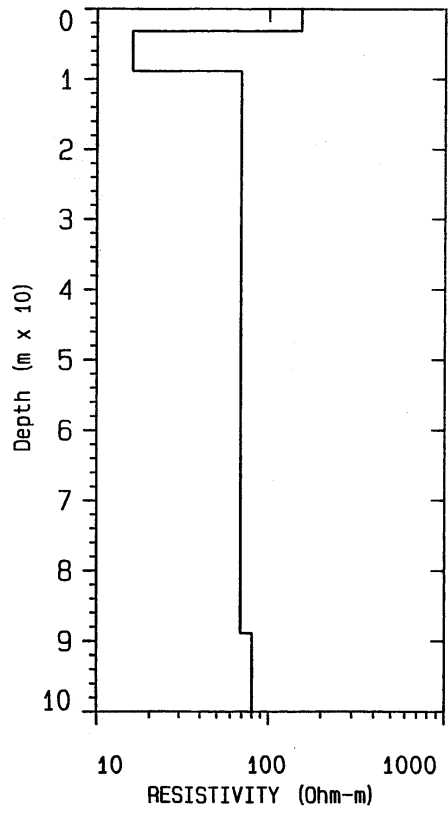
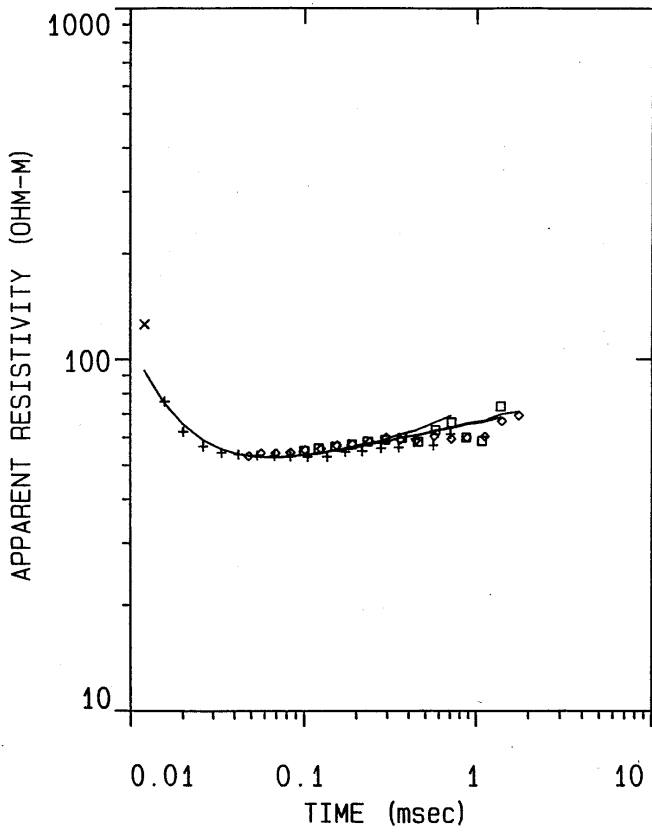
13



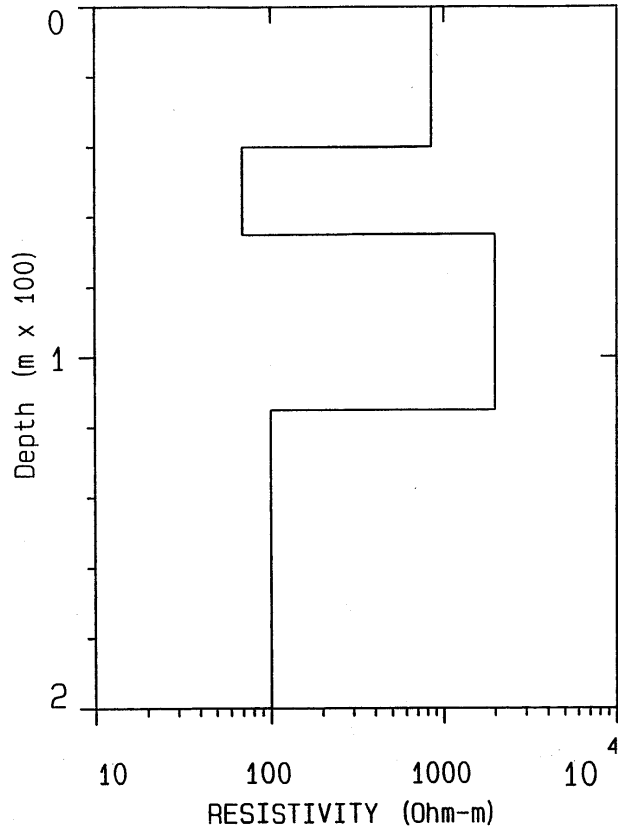
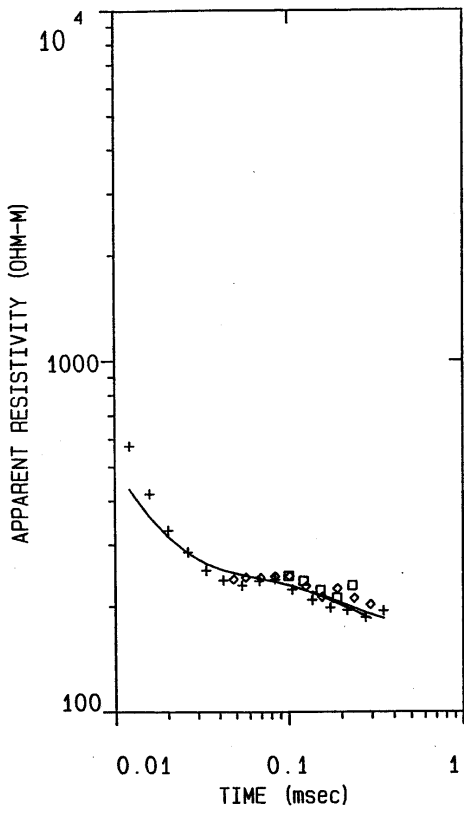
14



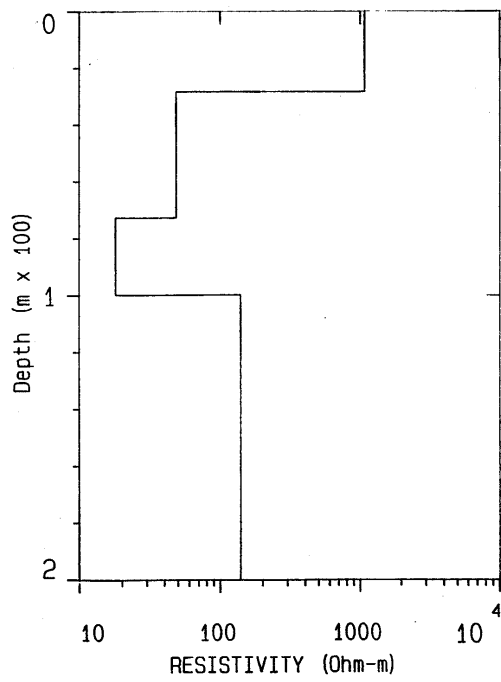
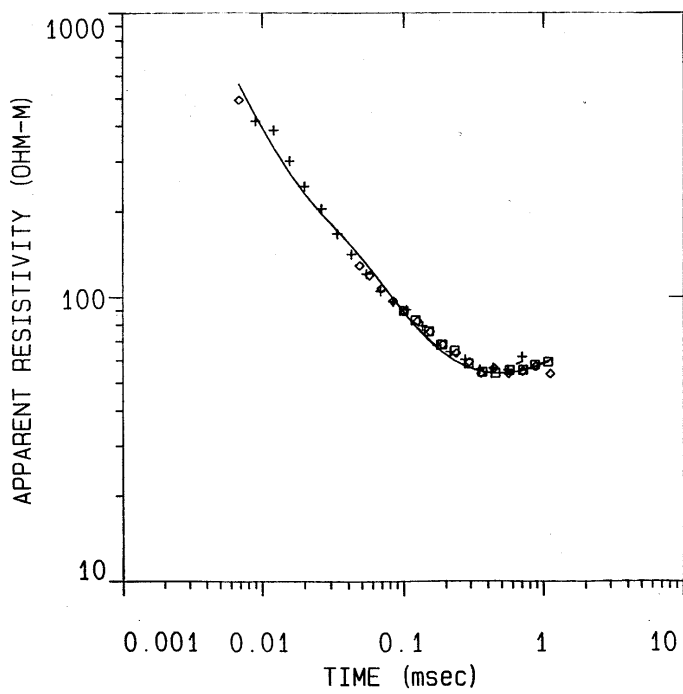


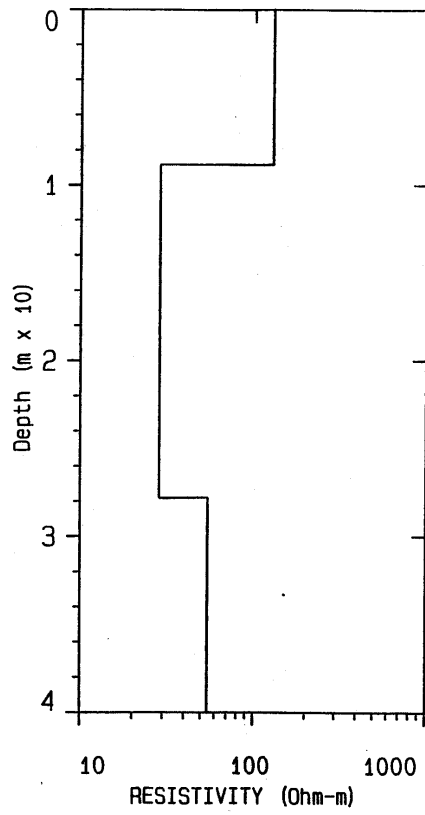
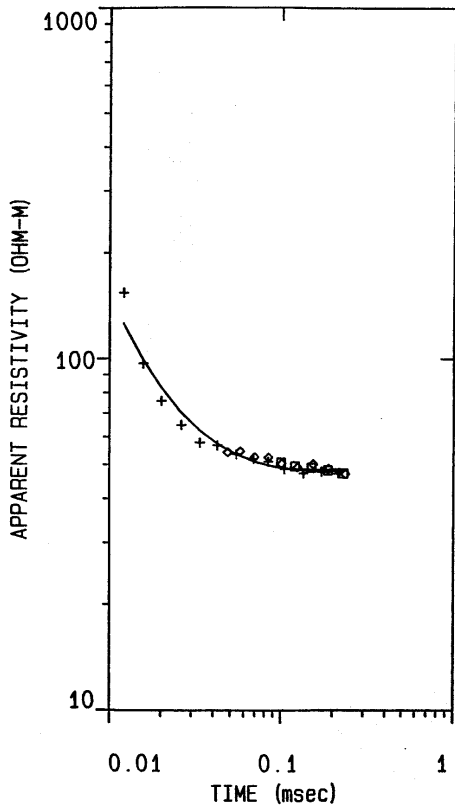


18

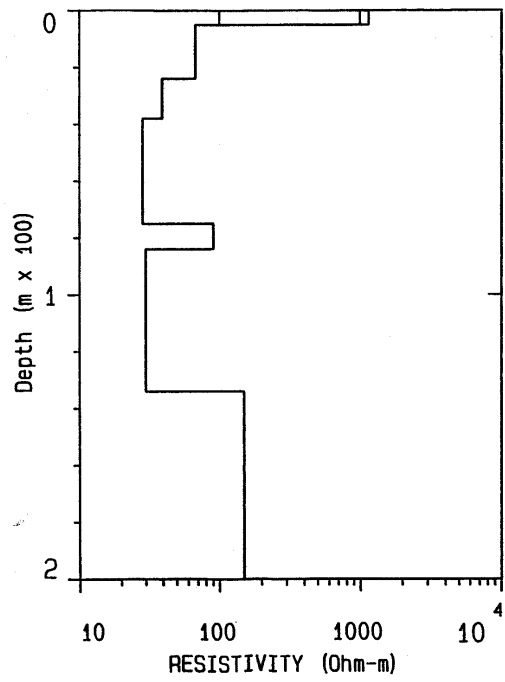
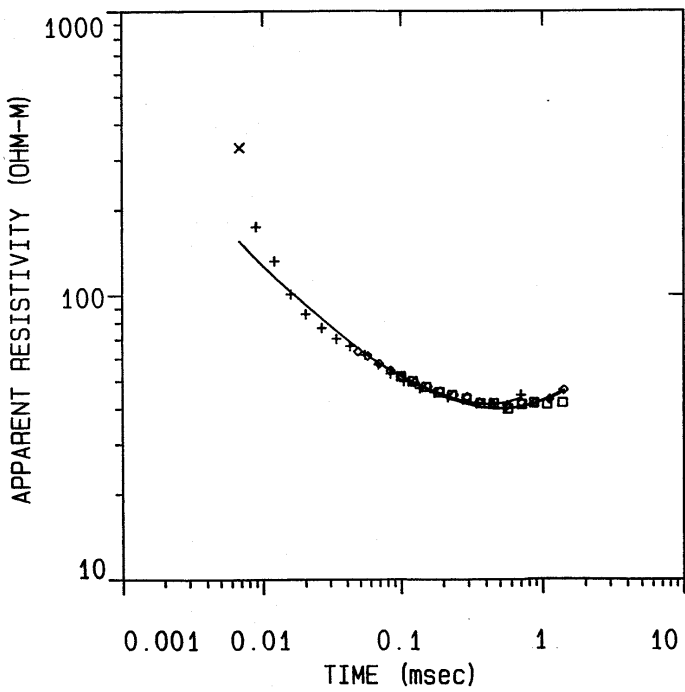


19

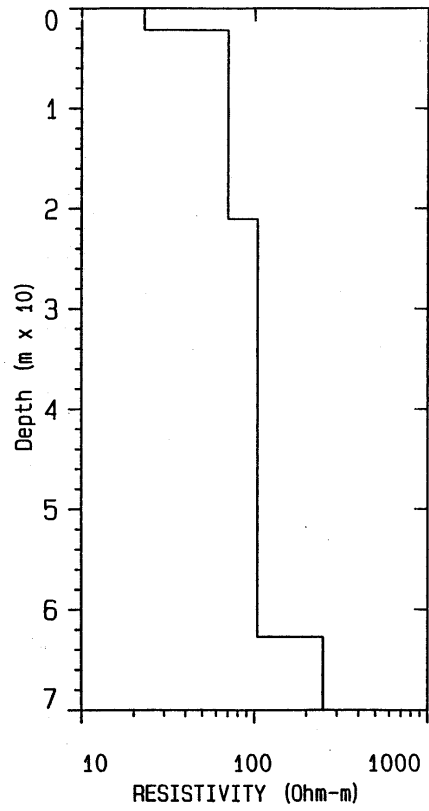
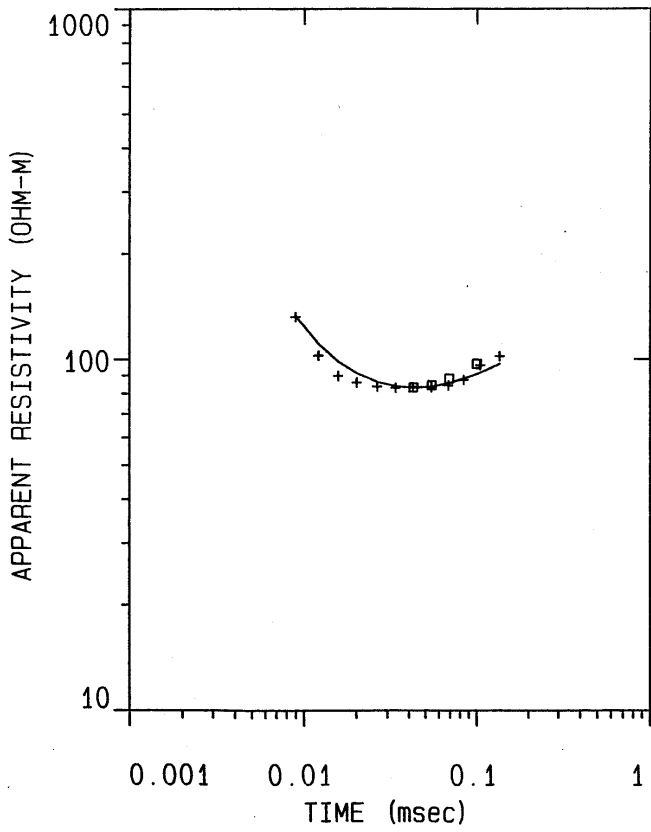




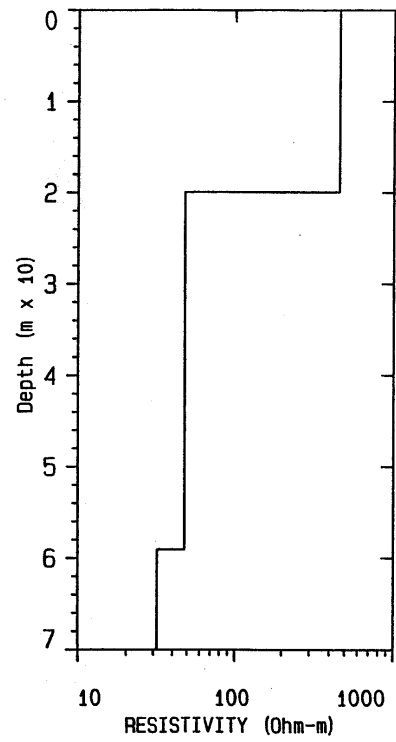
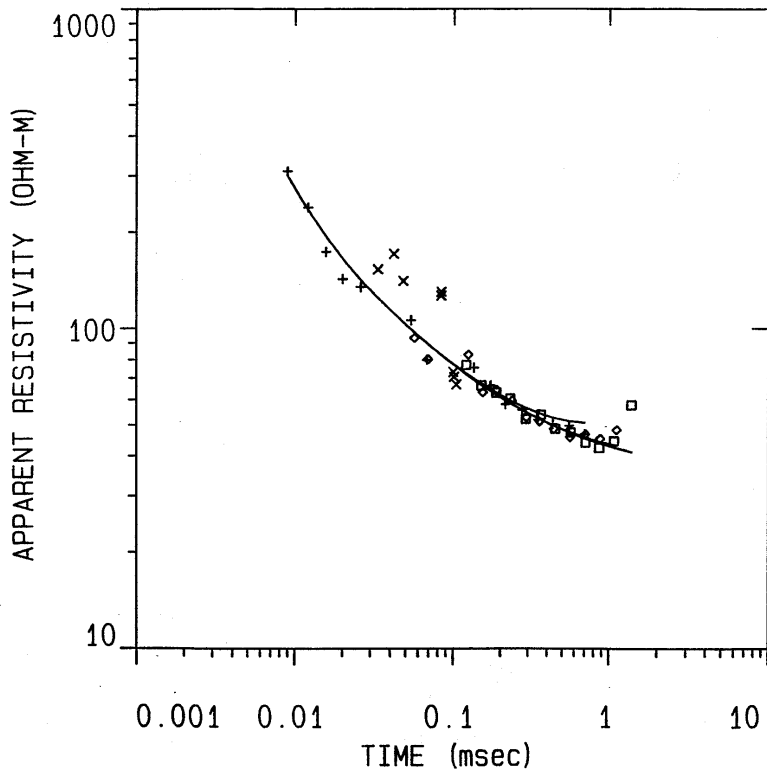
21



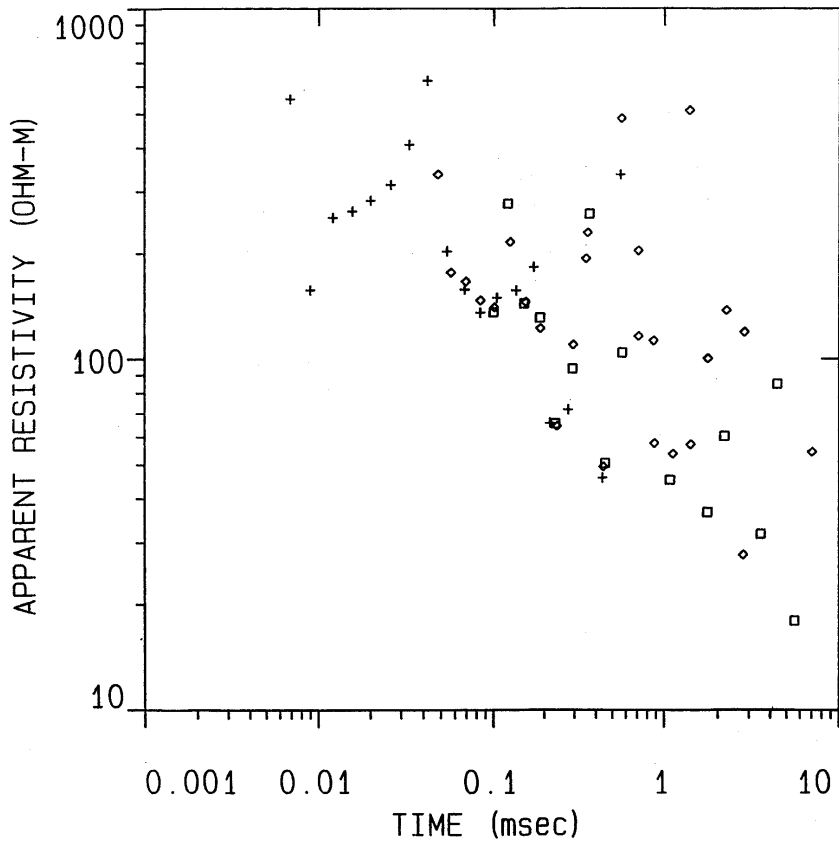
22



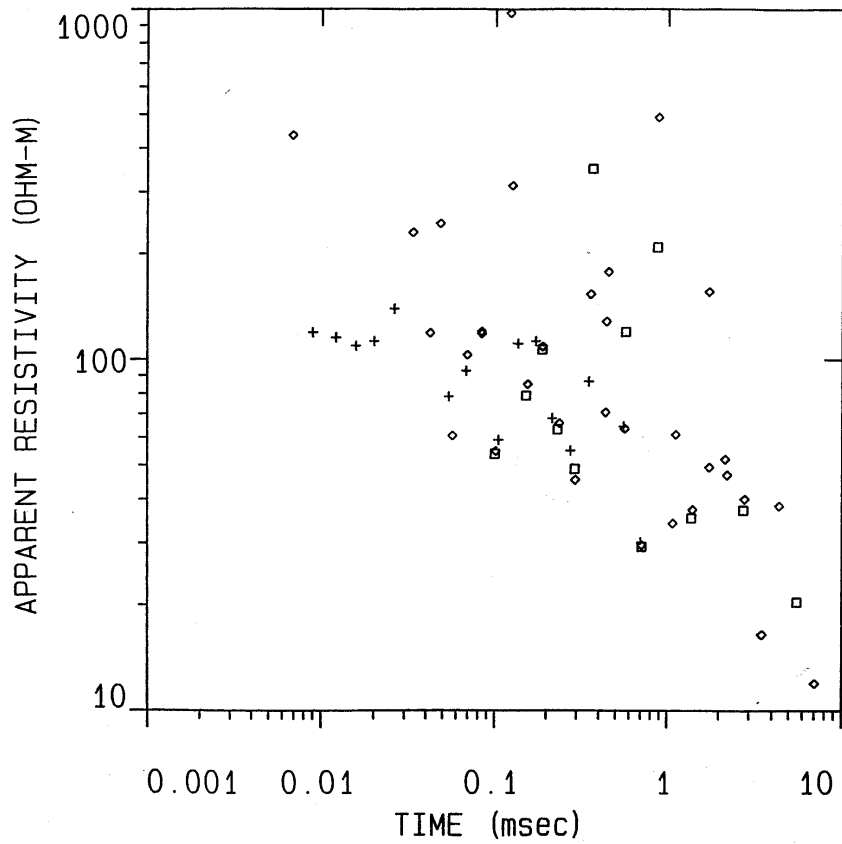
25



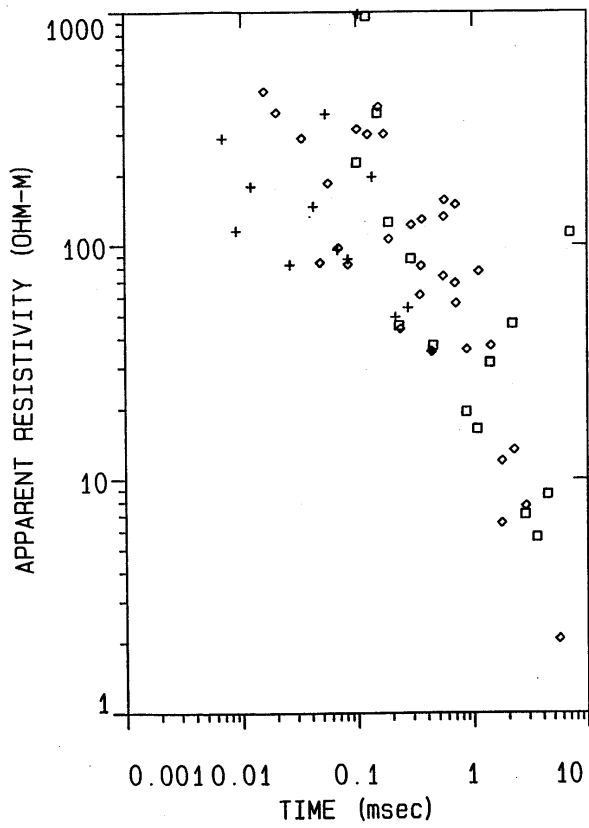
32



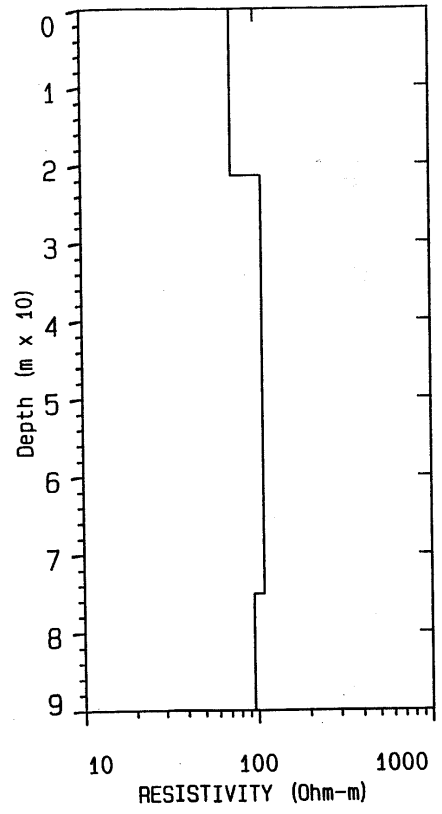
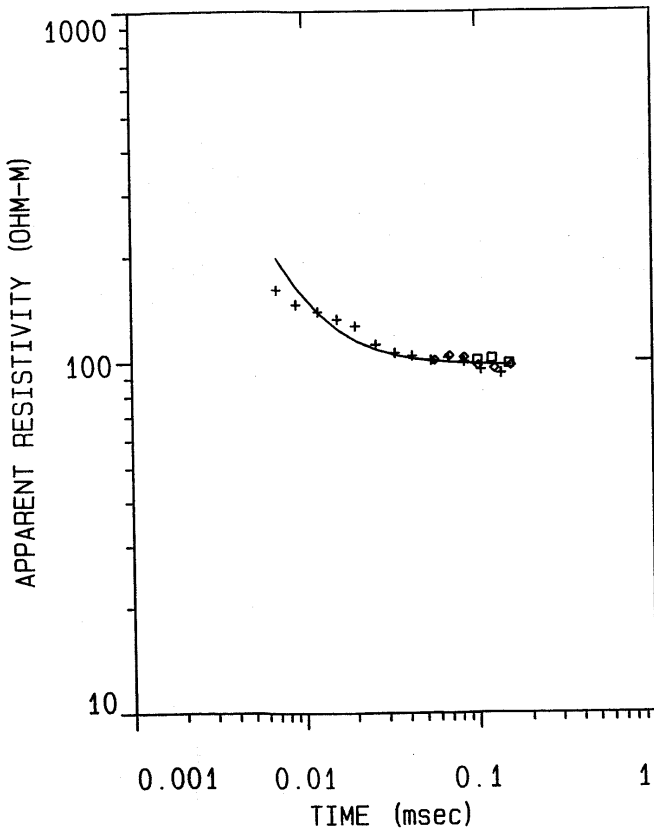
33

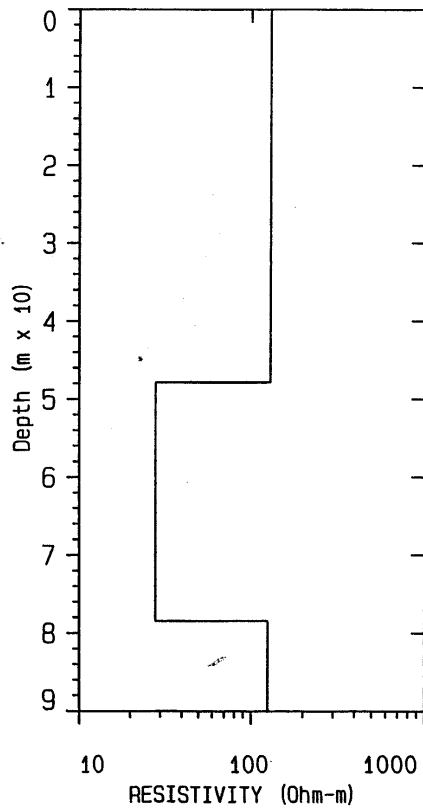
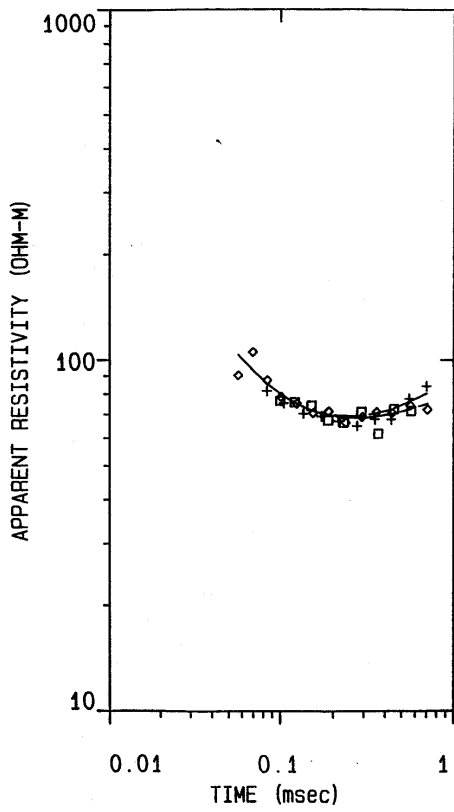


35

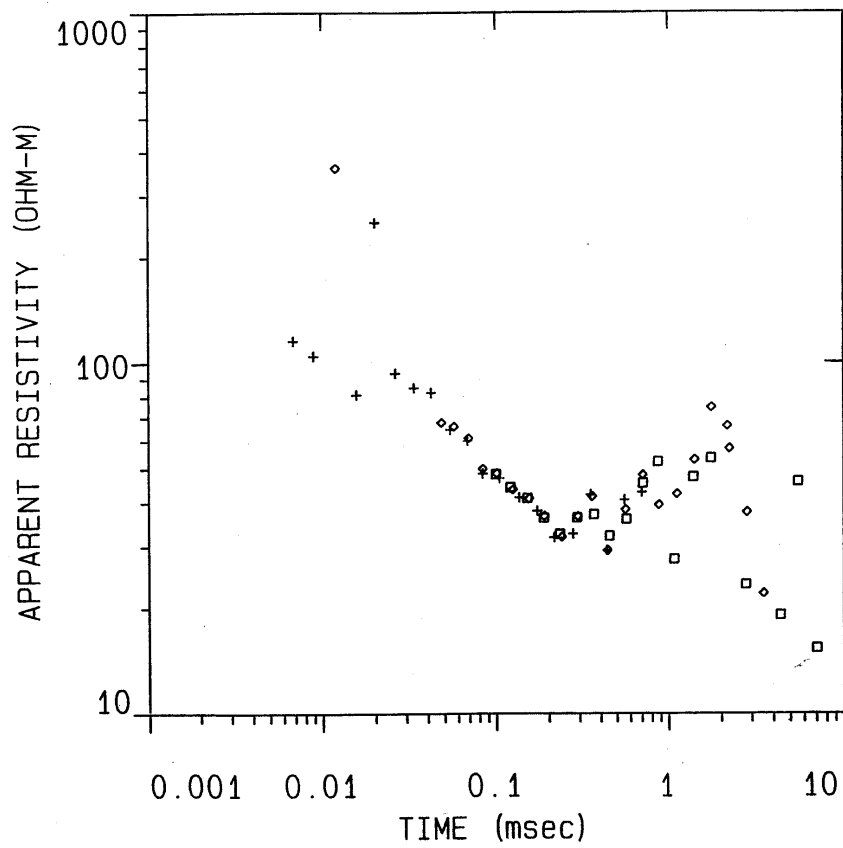


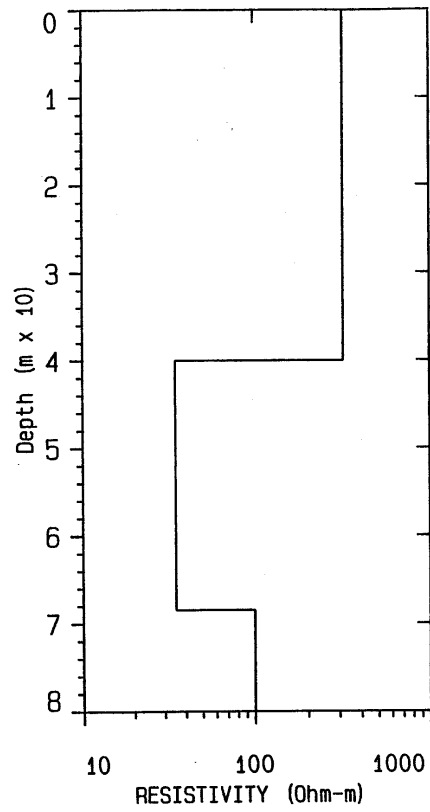
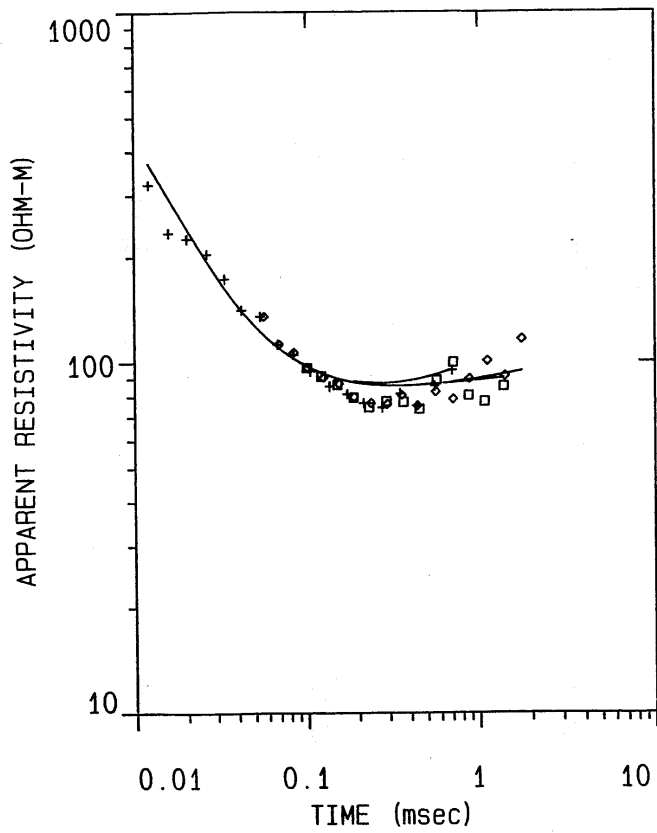
36



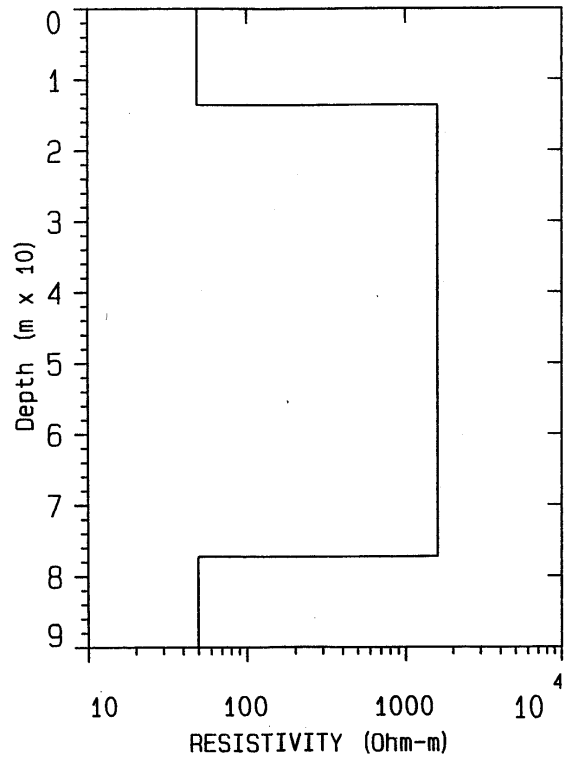
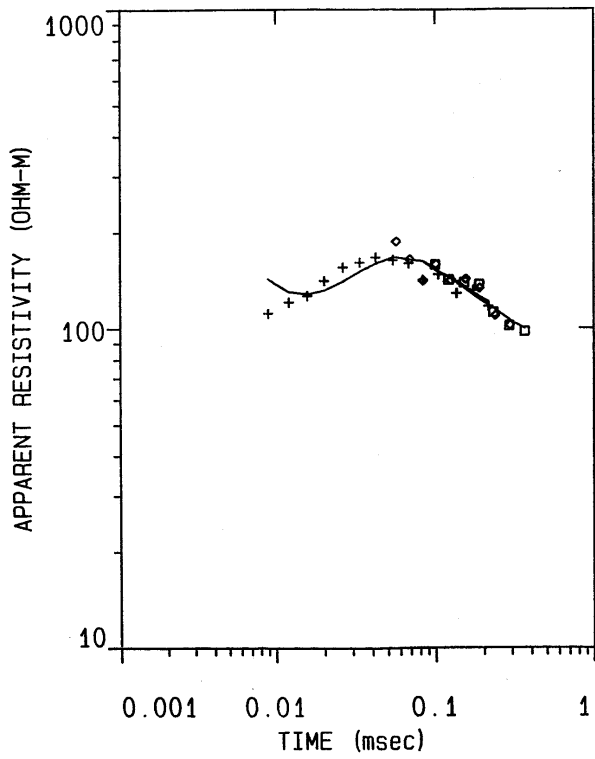


38

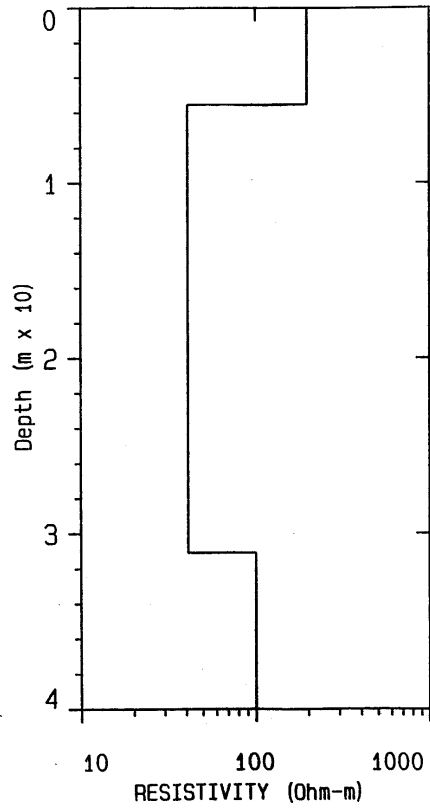
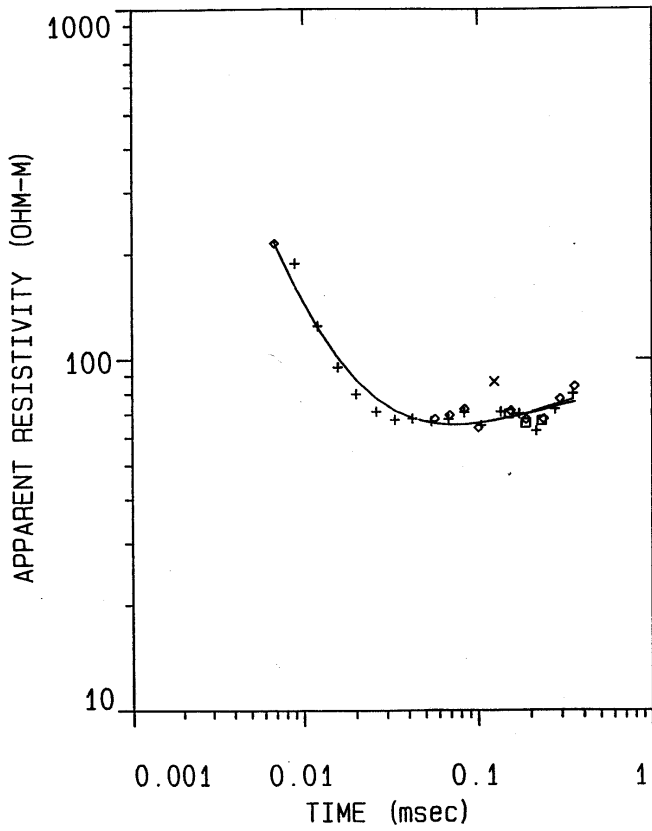




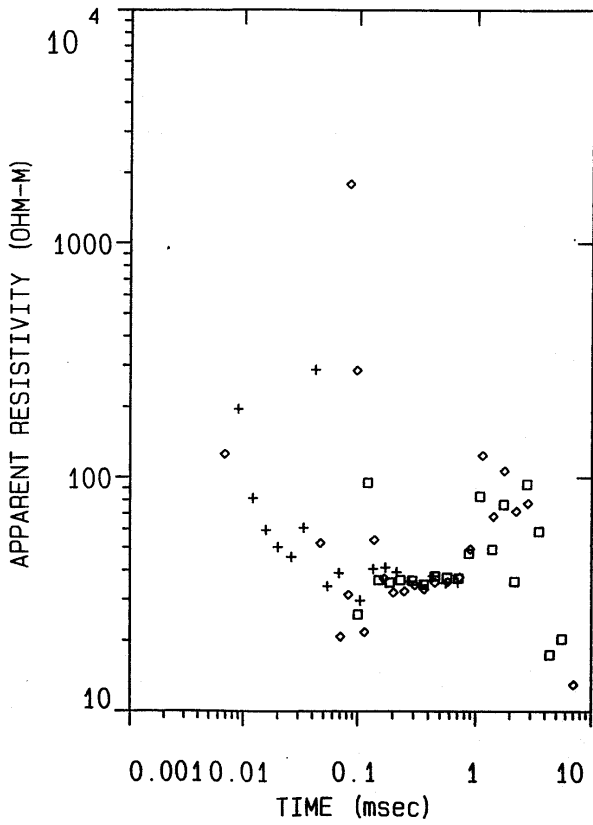
40



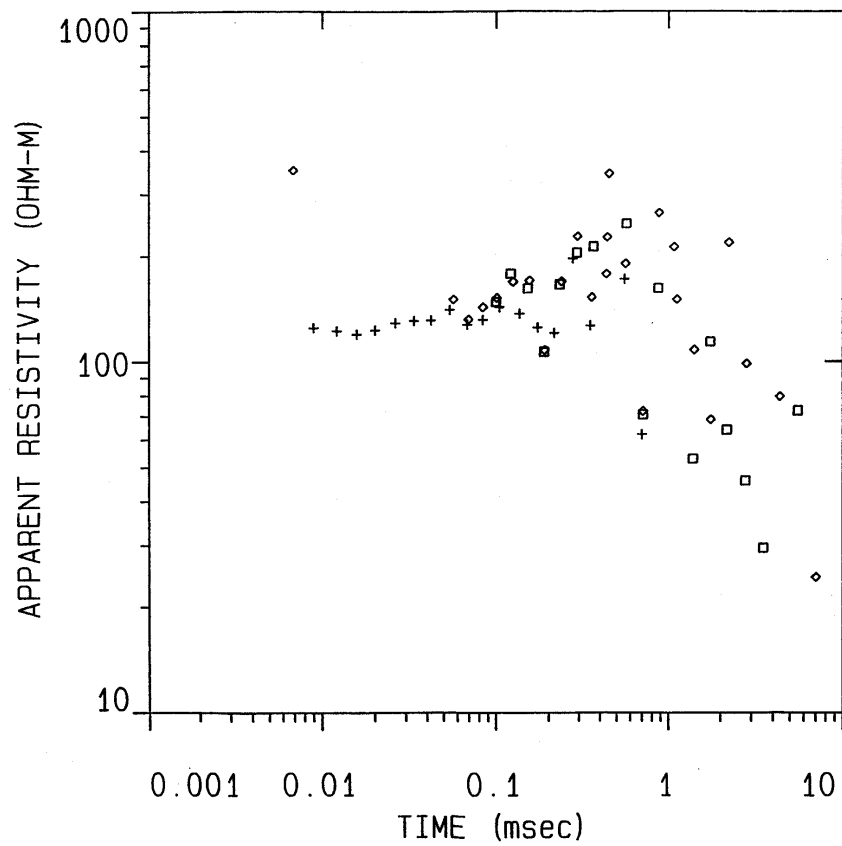
41

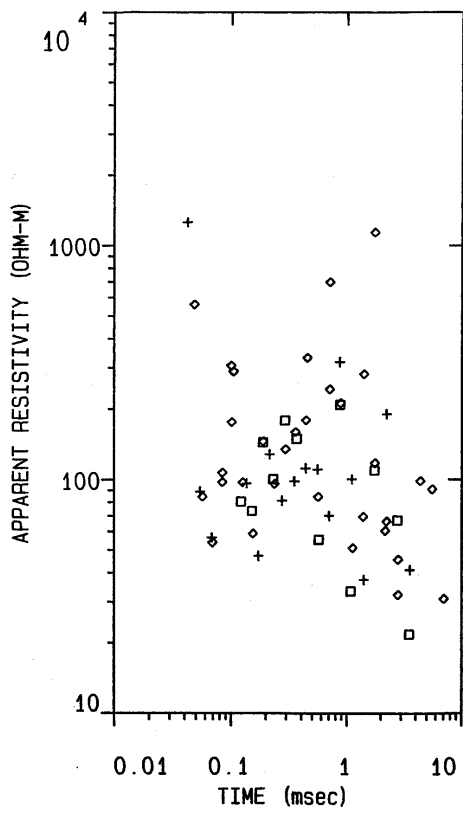


42

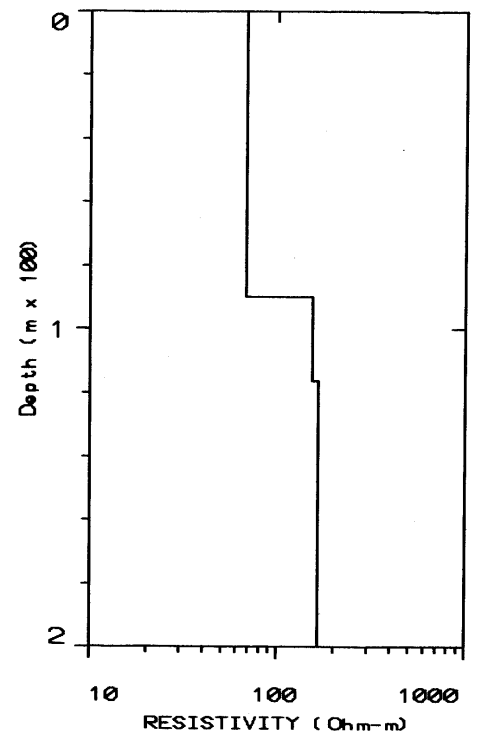
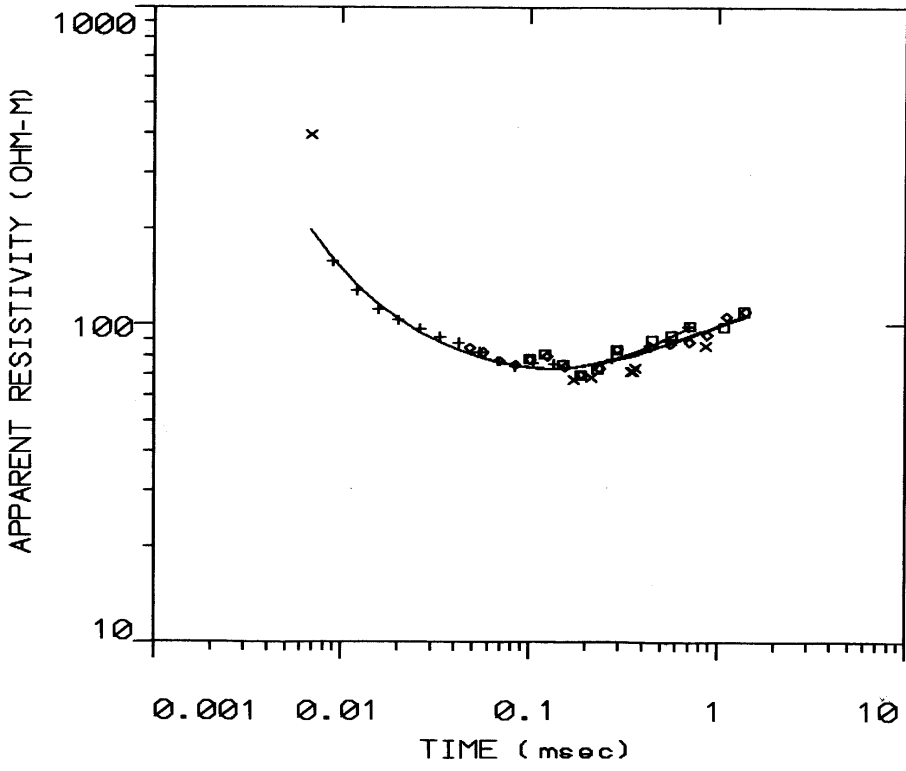


43

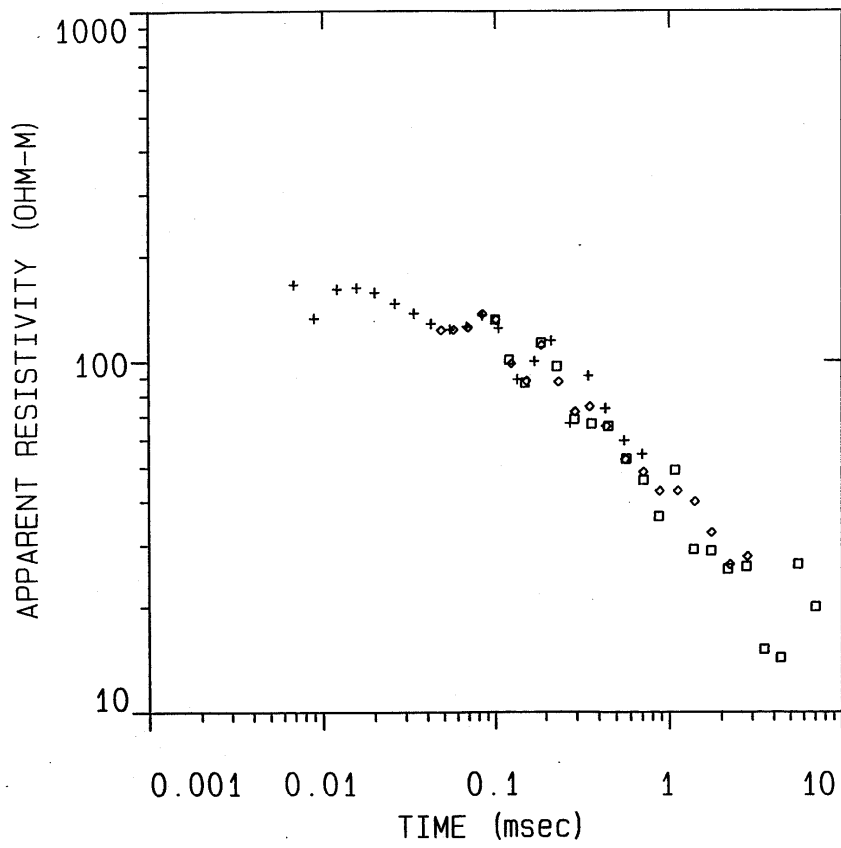




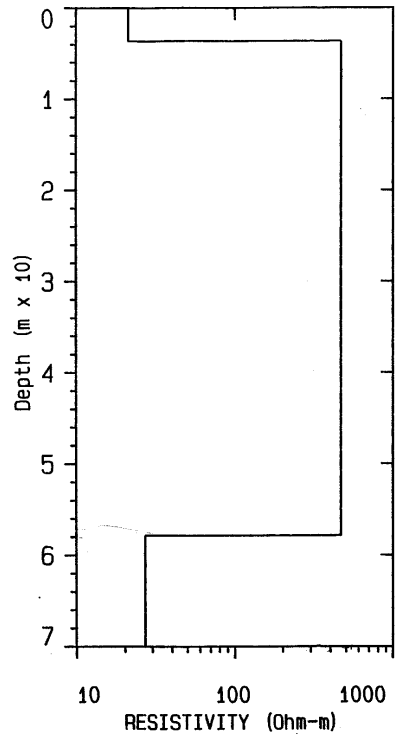
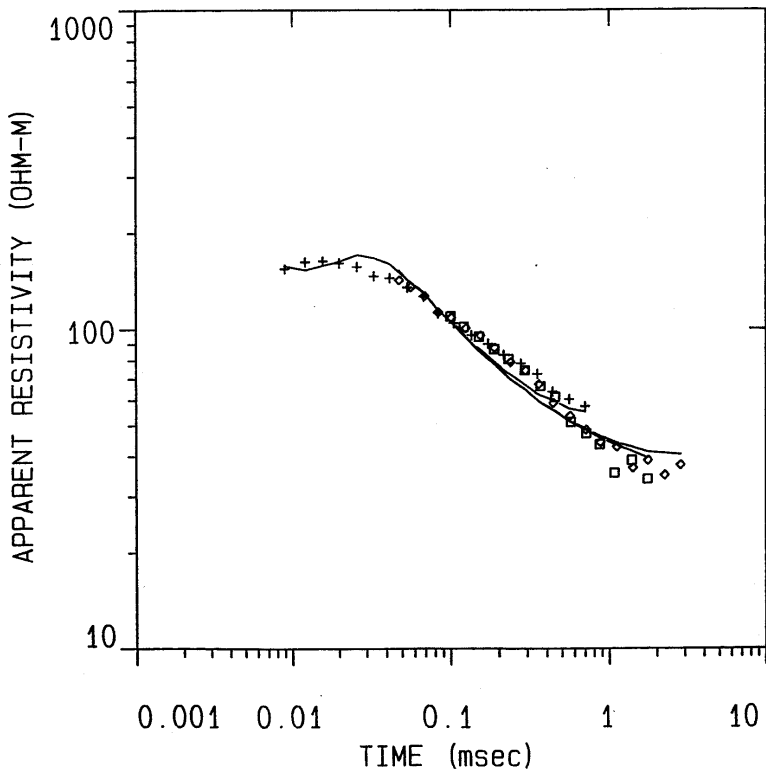
45



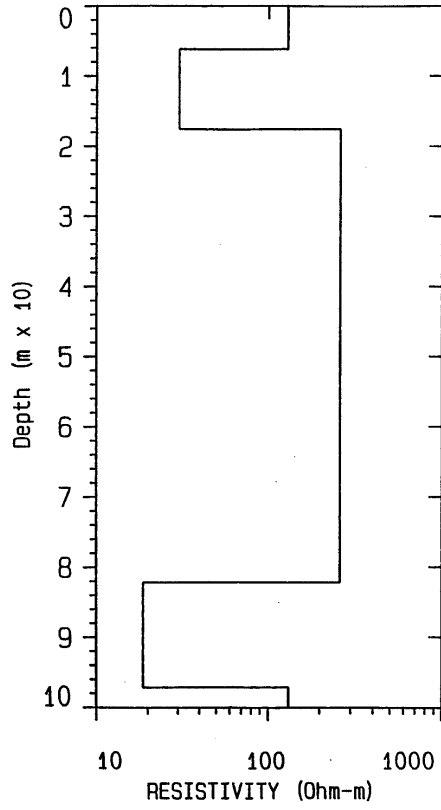
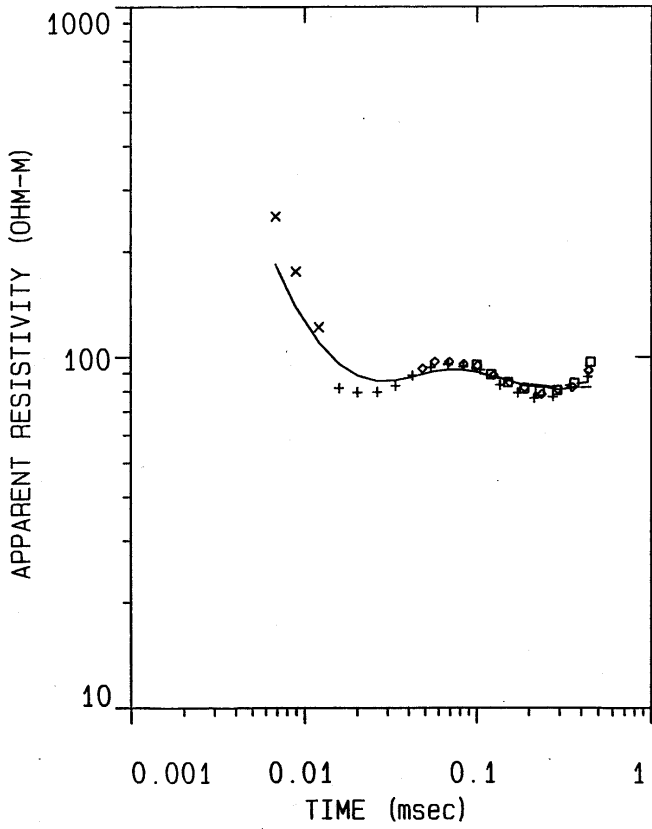
46



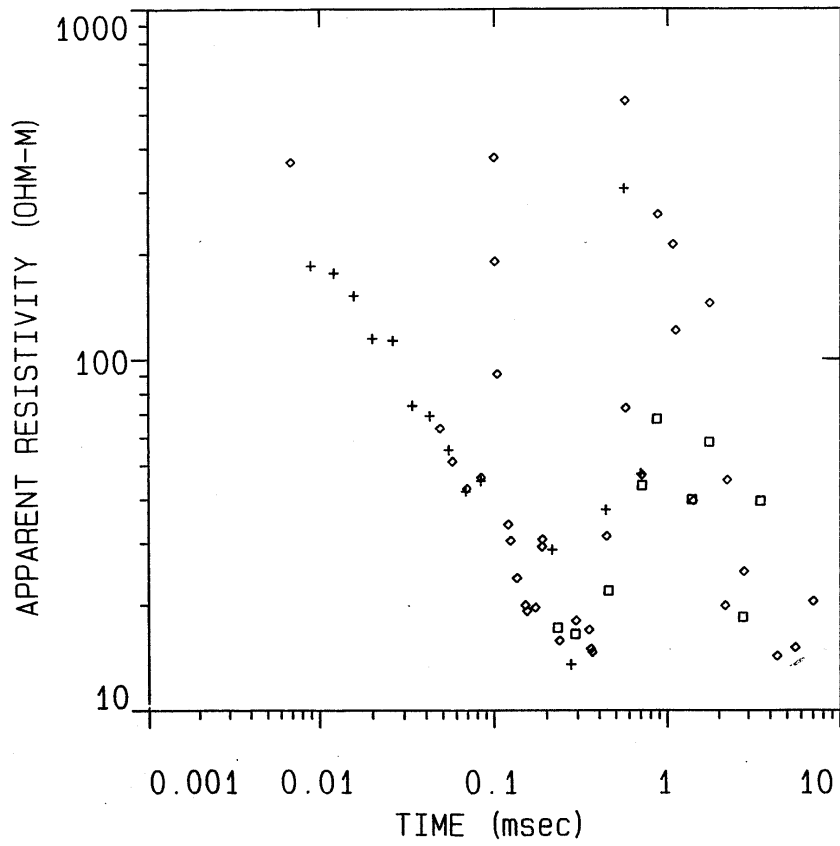
47



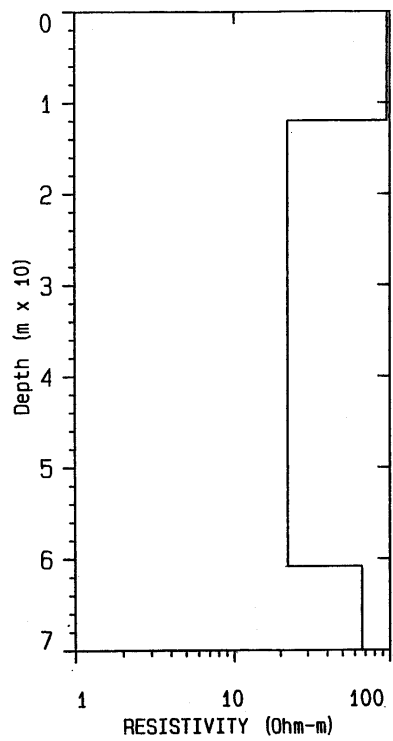
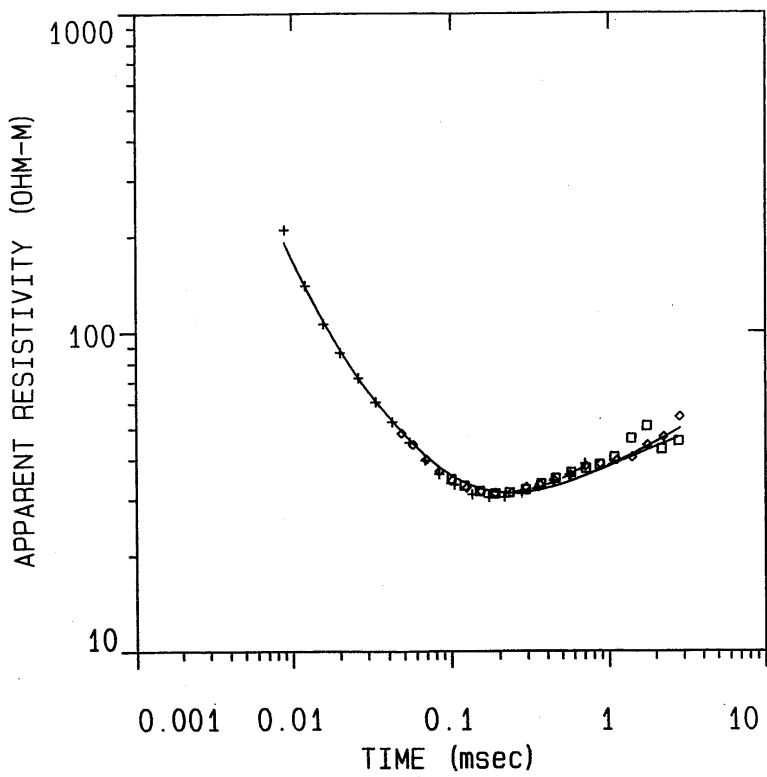
48



49



51



ANEXO 3.

DESCRIPCION DE LOS FICHEROS DIGITALES

**Información correspondiente a un SEDT de los ficheros
OLOT1.TMX y OLOT2.TMX.**

FREQUENCY: 62.50 Hz GAIN: 7 RAMP TIME: 3.00 mUSEC

No.	TIME (ms)	emf (nV/m sqrd)		DIFFERENCE (percent)
		DATA	SYNTHETIC	
14	0.0483	19031.0	-19012.7	0.0958
15	0.0569	12298.9	-12715.7	-3.38
16	0.0693	7521.4	-7799.9	-3.70
17	0.0840	4626.5	-4780.1	-3.32
18	0.101	2838.1	-2972.3	-4.73
19	0.125	1649.2	-1720.6	-4.32
20	0.154	938.0	-979.9	-4.47
21	0.189	558.9	-585.5	-4.75
22	0.237	309.6	-317.6	-2.57
23	0.294	173.5	-183.1	-5.49
24	0.357	109.1	-108.0	1.00
25	0.441	64.61	-62.73	2.90
26	0.563	33.71	-32.68	3.06
27	0.710	19.38	-17.86	7.83
28	0.881	11.17	-10.01	10.37
29	1.12	6.02	-5.36	11.04
30	1.41	2.91	-2.83	2.53
31	1.76	1.58	-1.60	-1.31

CURRENT: 3.00 AMPS EM-37 COTI AREA: 31.40 sq m.
 FREQUENCY: 250.00 Hz GAIN: 1 RAMP TIME: 3.00 mUSEC

No.	TIME (ms)	emf (nV/m sqrd)		DIFFERENCE (percent)
		DATA	SYNTHETIC	
32	0.0120	166204.1	-2.626E+05	-57.96
33	0.0157	184206.0	-1.867E+05	-1.33
34	0.0200	134815.4	-1.254E+05	6.98
35	0.0261	80129.7	-75253.5	6.08
36	0.0334	46189.0	-44573.9	3.49
37	0.0421	26414.4	-26350.1	0.243
38	0.0541	14257.8	-14400.0	-0.997
39	0.0682	8022.9	-8113.1	-1.12
40	0.0838	4822.9	-4803.0	0.411
41	0.104	2784.3	-2709.5	2.68
42	0.135	1451.7	-1380.5	4.90
43	0.172	761.0	-735.6	3.33
44	0.214	434.0	-408.6	5.84
45	0.275	227.6	-213.6	6.15
46	0.349	124.5	-110.9	10.90

No.	TIME (ms)	amf (nV/m sqrd)		DIFFERENCE (percent)
		DATA	SYNTHETIC	
47	0.436	65.71	-61.44	6.49
48	0.555	38.20	-31.33	17.98
49	0.701	19.10	-16.38	14.20

CURRENT RESOLUTION MATRIX NOT AVAILABLE

OLOTSEDT.DAT

St.	X	Y	Z
1	454301	4664325	470
2	454353	4665096	460
3	454626	4665846	455
4	454928	4666270	455
5	455363	4667189	450
6	455578	4667773	454
7	454834	4667820	455
8	454114	4667819	460
9	455575	4668338	460
10	456608	4667023	490
11	457429	4667267	490
12	458157	4666976	510
13	459154	4666724	550
14	459685	4666686	550
15	460531	4666372	580
16	461516	4666221	600
17	*	*	*
18	459034	4668417	510

Explicación del fichero OLOTSEDT.DAT, que contiene las coordenadas de los puntos de medida.

Cuando un SEDT no se ha medido sus coordenadas se indican mediante asteriscos.

Identificación del SEDT

V-15.TEM

No.	TIME (msec)	nV/m**2
1	8.6620E-02	6.6737E+04
2	1.0792E-01	4.4429E+04
3	1.3792E-01	2.7810E+04
4	1.7492E-01	1.7418E+04
5	2.1792E-01	1.0988E+04
6	2.7792E-01	6.5331E+03
7	3.5092E-01	3.8720E+03
8	4.3792E-01	2.3536E+03
9	5.5792E-01	1.3424E+03
10	7.0192E-01	7.6536E+02
11	8.5792E-01	4.8297E+02
12	1.0659E+00	2.8407E+02
13	1.3699E+00	1.5307E+02
14	1.7399E+00	8.4693E+01
15	2.1699E+00	4.8944E+01
16	2.7699E+00	2.7051E+01
17	3.4999E+00	1.5085E+01

Explicación de los ficheros *.TEM.

- 1ª Columna - Número del canal de lectura
- 2ª Columna - Tiempo del punto central del canal o ventana de lectura.
- 3ª Columna - f.e.m. del campo EM transitorio, expresada en nV/m²

St.	X	Y	Z
1	454301	4664325	470
2	454353	4665096	460
3	454626	4665846	455
4	454928	4666270	455
5	455363	4667189	450
6	455578	4667773	454
7	454834	4667820	455
8	454114	4667819	460
9	455575	4668338	460
10	456608	4667023	490
11	457429	4667267	490
12	458157	4666976	510
13	459154	4666724	550
14	459685	4666686	550
15	460531	4666372	580
16	461516	4666221	600
17	*	*	*
18	459034	4668417	510
19	456039	4668993	420
20	456796	4669596	400
21	457480	4669041	400
22	458304	4669220	410
23	*	*	*
24	*	*	*
25	455087	4670868	440
26	*	*	*
27	*	*	*
28	*	*	*
29	*	*	*
30	*	*	*
31	*	*	*
32	457960	4672197	400
33	458390	4672181	410
34	*	*	*
35	458388	4672771	410
36	458718	4673236	390
37	458019	4673735	370
38	457472	4673769	370
39	458397	4673919	370
40	459257	4673456	365
41	460622	4673736	350
42	461135	4673839	350
43	461765	4674217	350
44	462273	4674395	350

Explicación del fichero OLOTSEDT.DAT, que contiene las coordenadas de los puntos de medida.

Quando un SEDT no se ha medido sus coordenadas se indican mediante asteriscos.

Relación de sondeos mecánicos del Archivo de Puntos Acuíferos del
ITGE existentes en la zona de estudio.

371180019
371240033
371240035
371240036
371240037
371240038
371240039

381160012
381160013
381160016
381150020
381150021
381150030
381150035
381150037
381150038
381150075
381150081
381150083

321250004
321250011
321250020
321250025
321250039
321250046

En donde 38124003 significa:

3812 ▪ Hoja 1:50000

4 ▪ Octante de la hoja

0003 ▪ Numero de sondeo mecánico

1	2	3	4
5	6	7	8