



Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

**APOYO GEOFISICO A LAS INVESTIGACIONES DEL ITGE.**

**RECONOCIMIENTO MEDIANTE SEDT EN LA ZONA DE  
VILLAVICIOSA-TAZONES (ASTURIAS).**

**Abril-94.**



MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO

40438

## 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
	4.2.1. Medios informáticos .....	8
5.	TRABAJO REALIZADO .....	9
	5.1. Procesado e interpretación de los datos .....	12
	5.2. Documentos del estudio .....	13
6.	RESULTADOS OBTENIDOS .....	15
7.	CONCLUSIONES .....	31

40438

## F I G U R A S.

- Nº 1. Localización de la zona de trabajo.
- Nº 2. Localización de los SEDT medidos en el entorno del sondeo INYAST-1.
- Nº 3. Localización de los SEDT medidos en el área de TAZONES
- Nº 4. Curvas de resistividad aparente del Perfil 2.
- Nº 5. Efecto de la salinización en las curvas de SEDT.
- Nº 6. Distribución de los SEDT en perfiles. Zona del sondeo INYAST-1.
- Nº 7. Perfil geoelectrico nº 1
- Nº 8. Perfil geoelectrico nº 2
- Nº 9. Perfil geoelectrico nº 3
- Nº 10. Perfil geoelectrico nº 4
- Nº 11. Perfiles geoelectricos de la zona de TAZONES
- Nº 12. Curvas de resistividad aparente del PERFIL-4.
- Nº 13. Comparación de la respuesta teórica del modelo correspondiente al sondeo INYAST-1 y los SEDT próximos al mismo.

## A N E X O S.

- Nº 1. Características de los equipos y programas empleados.
- Nº 2. Curvas de resistividad aparente y su interpretación.
- Nº 3. Descripción de los ficheros digitales.

1. INTRODUCCION.

La zona donde se ha llevado a cabo el estudio que se describe en este Informe se localiza entre el puerto de El Puntal, en la desembocadura de la Ría de Villaviciosa, y el Puerto de Tazones, Provincia de Asturias. (Hoja nº 15 del MTN a escala 1/50.000). Véase al respecto la Figura 1.

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

Estos trabajos han consistido en la toma de datos e interpretación de 15 Sondeos EM de Dominio de Tiempos (SEDT) de los cuales doce se midieron con bucle transmisor de 200x200 m y tres con bucle de 100x100 m, debido a que las condiciones logísticas de la zona de estudio hicieron imposible el tendido de bucles de mayores dimensiones. El emplazamiento de los puntos de medida fue establecido por los técnicos del ITGE sobre plano y en el terreno.



## 2. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS.

Como conclusión del «Estudio de las posibilidades de utilización de formaciones geológicas profundas para la eliminación de residuos industriales y urbanos. Areas costeras de Asturias y zonas industriales de Zaragoza y Tarragona 1990-1991», realizado por el ITGE, se definió la zona de la Ría de Villaviciosa (Asturias) como potencialmente favorable para llevar a cabo una operación de inyección de aguas residuales de origen urbano.

A la vista de estas posibilidades y dado que el Principado de Asturias iba a iniciar el «Proyecto de Saneamiento de la Ría de Villaviciosa» se suscribió un Convenio de Cooperación entre el Principado y el Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE) con objeto de llevar a cabo un estudio que resolviera algunos aspectos relevantes, referentes a la geometría de las formaciones confinante y receptora, características hidráulicas de esta última así como las químicas del agua contenida en ella. Para ello se perforó el sondeo de investigación «INYAST-1» que atravesó la sección geológica que de forma resumida se indica seguidamente.

Entre 0 y 166 m:

«Ritmita» del Conjunto de Rodiles, constituida por una alternancia de niveles de margas y calizas de espesor decimétrico.

Entre 166 y 184 m:

Formación Buerres, constituida por calizas nodulosas y margas que desaparecen progresivamente hacia el muro.

Entre 184 y 373 m:

Formación Gijón. La constituyen calizas y dolomías con tramos muy karstificados tanto al techo como al muro. Es la formación receptora para los objetivos de inyección.

A partir de 373 m:

Paso gradual al Triás con presencia de evaporitas, limolitas, dolomías, etc.

Estos resultados del sondeo «INYAST-1» esbozan claramente el modelo geológico de la zona de estudio y definen los objetivos del mismo que se centran en la resolución de aspectos geométricos de las unidades geológicas significativas como son la posición del techo y muro de la formación receptora, así como las posibles discontinuidades laterales que puedan afectarla.

### 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 este estratificado 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 se sospecha la existencia de fallas que pueden compartimentar en bloques las unidades litológicas significativas, creando acusados contrastes laterales de resistividad.



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 GEOPHYISCAL 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.
- Bobina receptora de baja frecuencia, con un área efectiva de 100 m<sup>2</sup>.
- 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.

#### 4.2.1. MEDIOS INFORMATICOS.

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.

Se han medido 15 SEDT en los emplazamientos definidos por los técnicos del ITGE. Dejamos constancia de las difíciles condiciones topográficas y de vegetación en la mayoría de los puntos de medida.

La localización de los SEDT queda reflejada en las Figuras 2 y 3 sobre la base topográfica suministrada por el ITGE. También se indica en ellas el tamaño del bucle transmisor utilizado en cada SEDT.

Las medidas se han efectuado con dispositivo «in-loop», situando la bobina receptora en el centro del bucle transmisor y registrando la componente vertical del campo EM transitorio. Los parámetros que definen la forma en que hemos realizado las medidas son los que se resumen en la tabla que sigue:

- Bucle transmisor	100x100 m	200x200 m
- SEDT realizados	3	12
- Intensidad pulsos de corriente	27 A	23 A
- Tiempo de corte (T/O time)	120µs	170µs



Figura 2. - Localizacion de los SEDT medidos en el entorno del sondeo INYAST-1

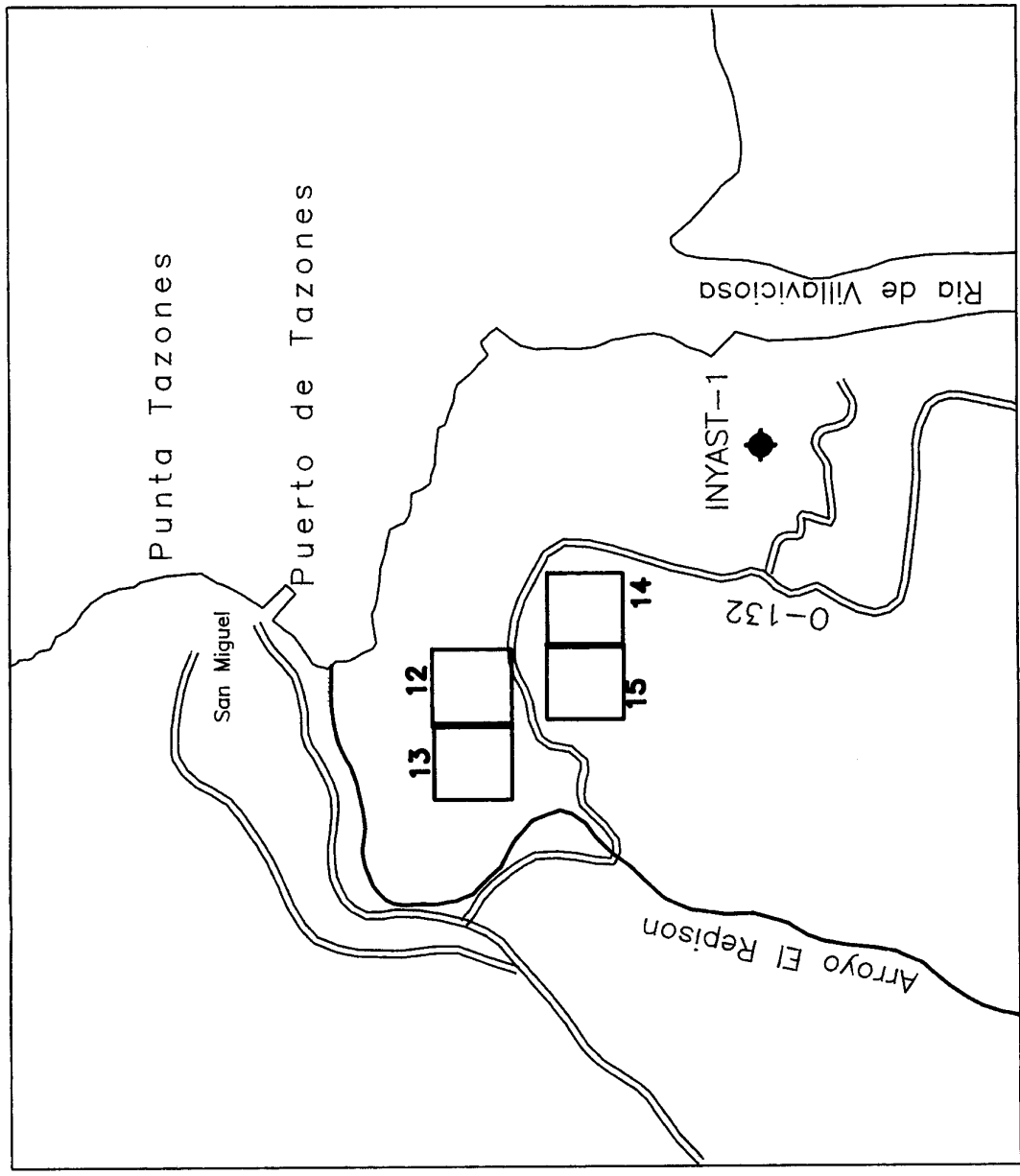


Figura 3.- Localizacion de los SEDT medidos en el area de Tazones

- Sincronismo. Mediante cable de referencia.
- Frecuencia. En cada SEDT se realizaron tres series de medidas con frecuencias de: 25 Hz, 6'25 Hz y 2'5 Hz.
- Tiempo de muestreo. 48 segundos en cada frecuencia.
- Distribución de las ventanas de lectura, según la tabla adjunta.

#### 5.1. 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, siendo las lecturas correspondientes a tiempos crecientes representativas de los materiales del subsuelo situados a rangos crecientes de profundidad.

A partir de las series de valores de f.e.m. en función del tiempo se calculan los correspondientes 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.

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

PROTEM 57 (C)

POSITION OF GATE START AND CENTER IN MSEC

GATE NO.	BASE FREQUENCY					
	30Hz. & 25Hz.		7.5Hz. & 6.25Hz.		3Hz. & 2.5Hz.	
	CENTER	START	CENTER	START	CENTER	START
1	0.087	0.078	0.348	0.312	0.87	0.78
2	0.108	0.096	0.432	0.384	1.08	0.96
3	0.138	0.120	0.552	0.480	1.38	1.20
4	0.174	0.156	0.696	0.624	1.74	1.56
5	0.216	0.192	0.864	0.768	2.16	1.92
6	0.277	0.240	1.11	0.960	2.77	2.40
7	0.353	0.314	1.41	1.27	3.53	3.14
8	0.441	0.392	1.76	1.57	4.41	3.92
9	0.561	0.490	2.24	1.96	5.61	4.90
10	0.706	0.632	2.82	2.53	7.06	6.32
11	0.865	0.780	3.46	3.12	8.65	7.80
12	1.07	0.950	4.28	3.80	10.7	9.50
13	1.38	1.19	5.52	4.76	13.8	11.9
14	1.75	1.56	7.00	6.24	17.5	15.6
15	2.19	1.93	8.76	7.72	21.9	19.3
16	2.82	2.45	11.3	9.80	28.2	24.5
17	3.56	3.18	14.2	12.7	35.6	31.8
18	4.37	3.93	17.5	15.7	43.7	39.3
19	5.54	4.80	22.2	19.2	55.4	48.0
20	7.04	6.28	28.2	25.1	70.4	62.8
21 *		7.79		31.2		77.9

\* End of 20th Gate.



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 resultados del sondeo «INYAST-1».

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.

## 5.2. DOCUMENTOS DEL ESTUDIO.

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

- Fichero digital TAZONES.TMX que contiene los datos y resultados de la interpretación de cada SEDT, en el formato adecuado para su tratamiento con el programa TEMIXGL.
- Fichero TAZONES.DAT que contiene las coordenadas y cotas de los puntos de medida (Punto central del bucle transmisor)
- Fichero TAZONES.TEM. Es un fichero ASCII con los datos de cada SEDT

En el ANEXO 3 de este Informe se describe el contenido de

dada uno de los ficheros mencionados.

- Planos de situación de los puntos de medida.
- Gráficos con las curvas de resistividad aparente (teórica y de campo) de cada SEDT así como del modelo adoptado como interpretación. Estos gráficos se incluyen en el ANEXO 2.
- Perfiles o secciones geoelectricas obtenidos al correlacionar los resultados de la interpretación de los diversos SEDT, situados en un mismo perfil.

6. RESULTADOS OBTENIDOS.

Para la presentación de los resultados de la interpretación hemos agrupado los SEDT del área del sondeo «INYAST-1» en los cuatro perfiles que indicamos en la Figura 6. Los correspondientes a los SEDT del área de Tazones se representan en los perfiles geoelectricos de la Figura 11.

Haciendo abstracción de la capa más superficial de muy pequeño espesor y reducida representatividad para el tamaño de los bucles transmisores empleados en las medidas, la mayoría de las curvas de resistividad aparente obtenidas reflejan un modelo de tres capas de las cuales la intermedia es de carácter resistivo mientras que las otras dos son conductoras, en términos relativos.

Sobre este modelo general se producen importantes variaciones que en nuestra opinión responden a la existencia de contrastes laterales de resistividad en los materiales del subsuelo por efecto de posibles desplazamientos verticales asociados a zonas de falla. Otro efecto claramente apreciable aunque de distinta naturaleza, es el de la salinización por intrusión marina en algunos puntos de medida.

Respecto al primero de los efectos mencionados nos remitimos a la Figura 4 donde se incluyen las curvas de resistividad aparente del Perfil 2. Observe la diferencia del SEDT 6 respecto a los restantes, lo que sugiere la existencia de

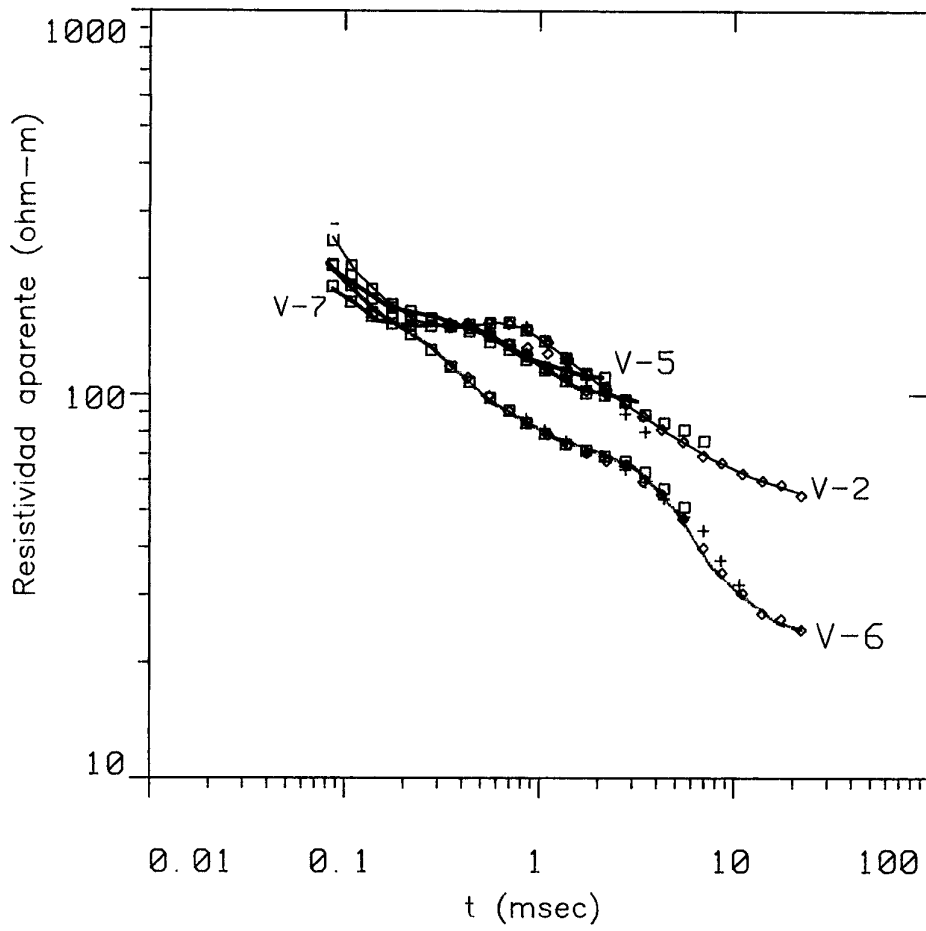


Figura 4.— Curvas de resistividad aparente del Perfil 2.

contrastes laterales de resistividad (posibles fallas) en su entorno. En todo caso es un cambio significativo en el modelo geoelectrico de la zona.

La influencia de la salinización es manifiesta en los SEDT números 8 y 9 tal como se puede apreciar al comparar sus curvas de resistividad aparente con la del SEDT 7 que no muestra este efecto de descenso gradual de la resistividad del subsuelo (Ver Figura 5), con la profundidad.

Mediante estos comentarios y las figuras que los acompañan queremos dejar constancia de que las medidas realizadas reflejan claramente variaciones significativas en la distribución de valores de un parámetro físico relevante (la resistividad eléctrica) de los materiales del subsuelo y de que tales variaciones pueden ser interpretadas en términos geológicos.

Los resultados de la interpretación de los SEDT que presentamos en forma de perfiles geoelectricos en las Figuras 7 a 11 se basa en la aplicación de criterios puramente matemáticos: Conseguir el mejor grado de ajuste entre los datos de campo y la respuesta del modelo. Tal interpretación admite ciertos rangos de variación en los valores de resistividad y espesor de las capas del modelo (equivalencia) por lo que debe entenderse en términos aproximados.

En todo caso los perfiles geoelectricos representan una simplificación de la realidad geológica, casi siempre compleja. La definición de sus rangos más relevantes a partir de los SEDT se basa en que entre las capas del subsuelo existan contrastes efectivos, netos, de resistividad y no cambios graduales como pudiera ocurrir en lo relativo al techo de la formación receptora de nuestro caso. Finalmente debe tenerse en cuenta al valorar los resultados obtenidos que en los perfiles geoelectricos se representan capas caracterizadas por un determinado valor de resistividad, con independencia de su naturaleza litológica. Dicho en otros términos una capa

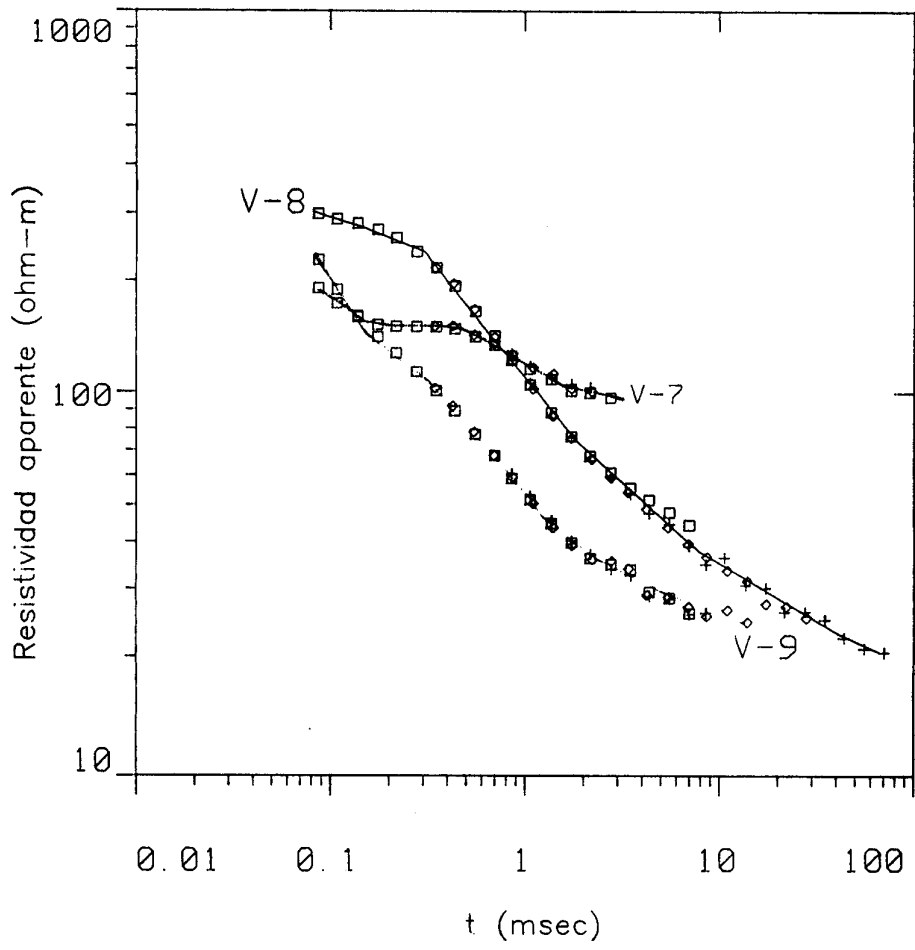


Figura 5.- Efecto de la salinizacion en las curvas de SEDT.

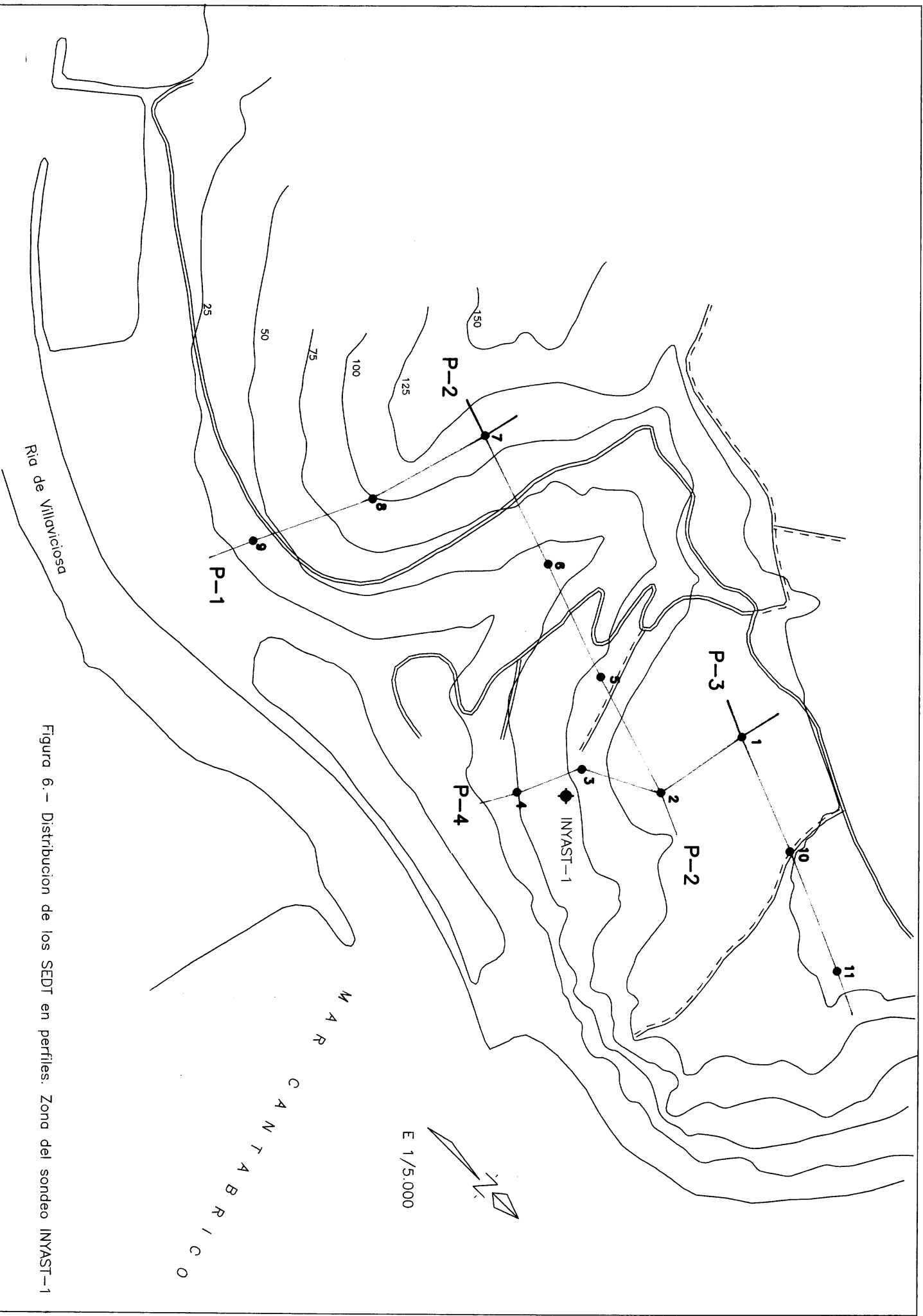


Figura 6.- Distribucion de los SEDI en perfiles. Zona del sondeo INYAST-1

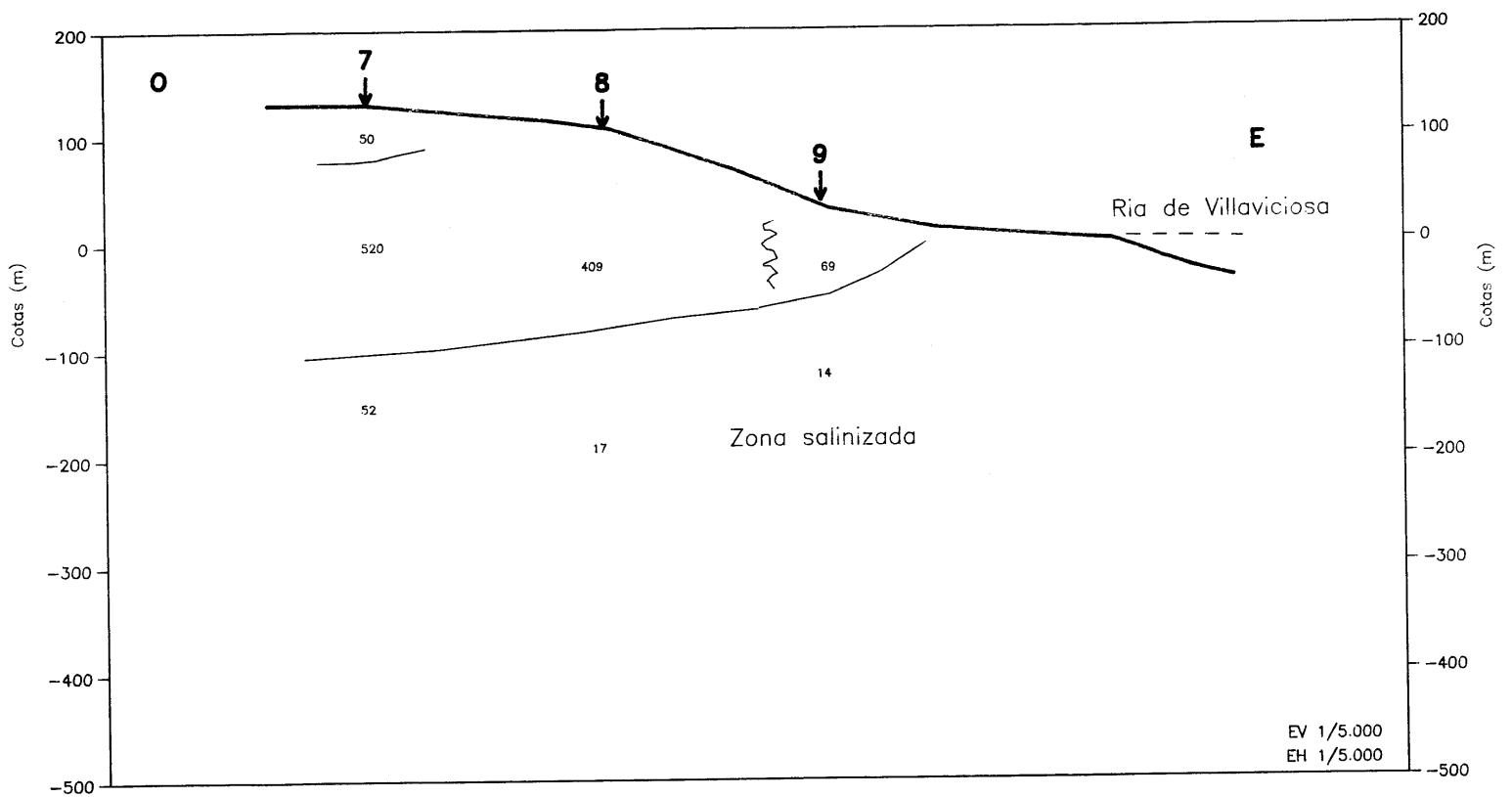


Figura 7.- Perfil geoelectrico n° 1.



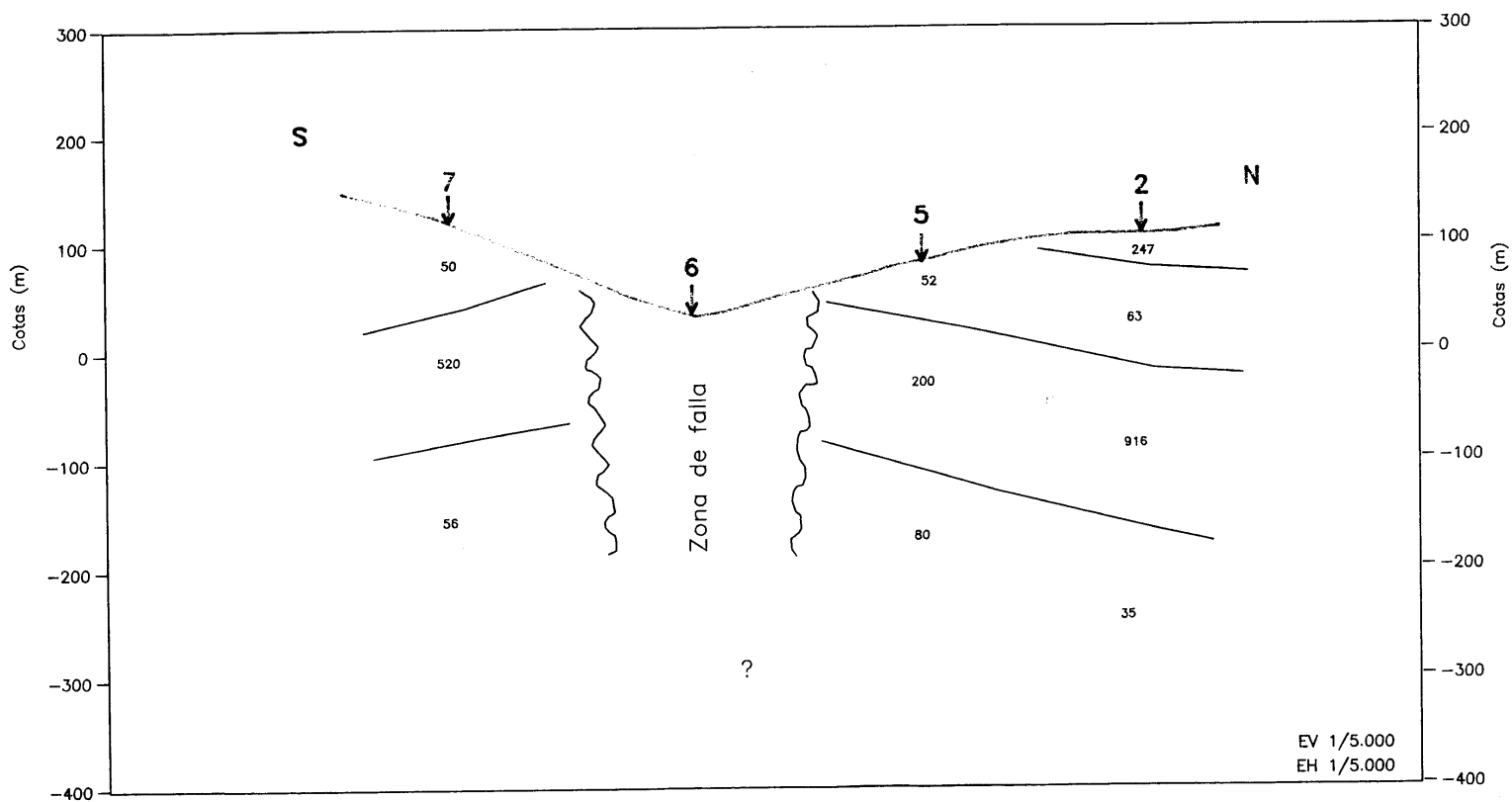


Figura 8.- Perfil geoelectrico n° 2.

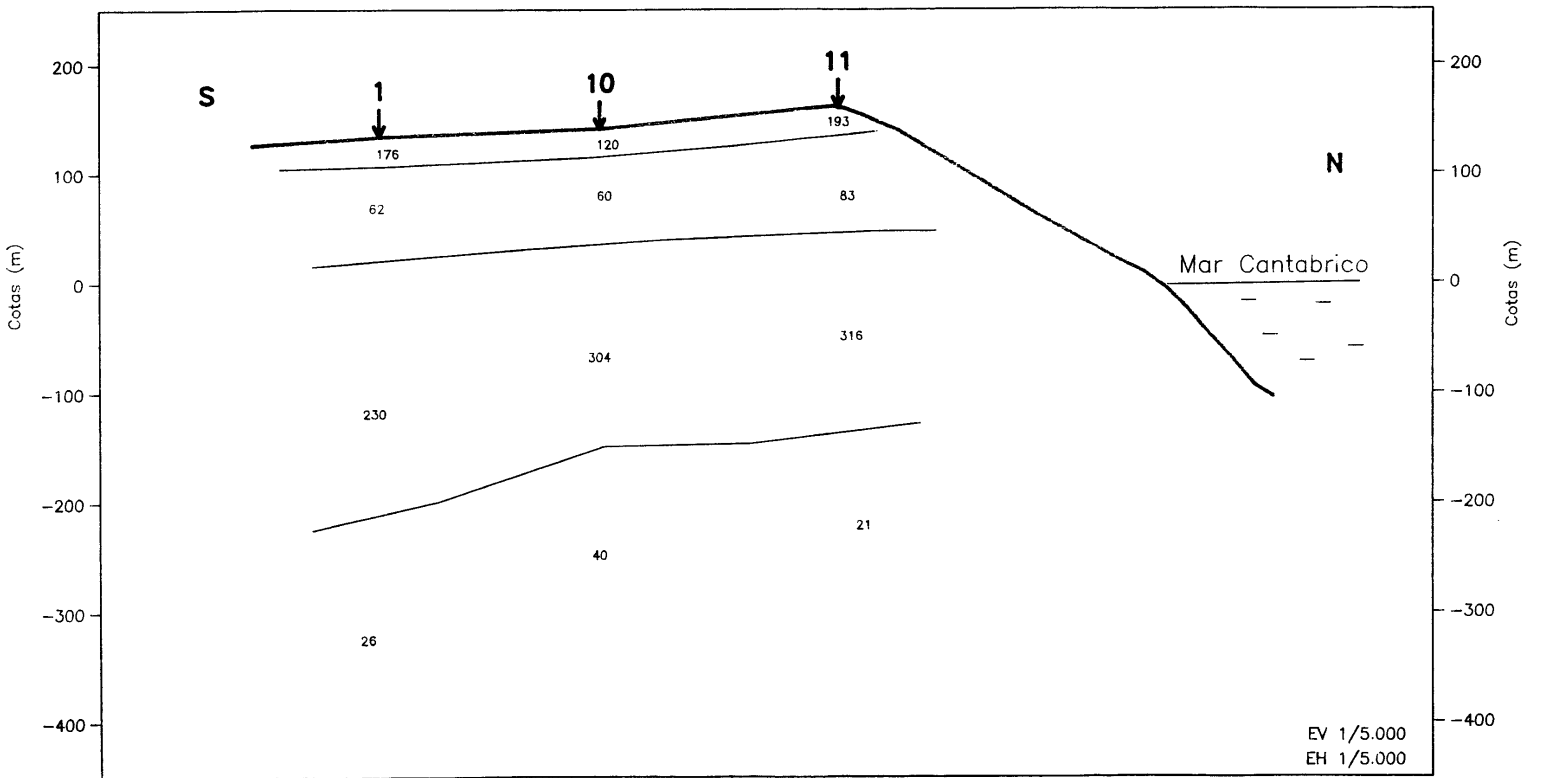


Figura 9.- Perfil geoelectrico n° 3.

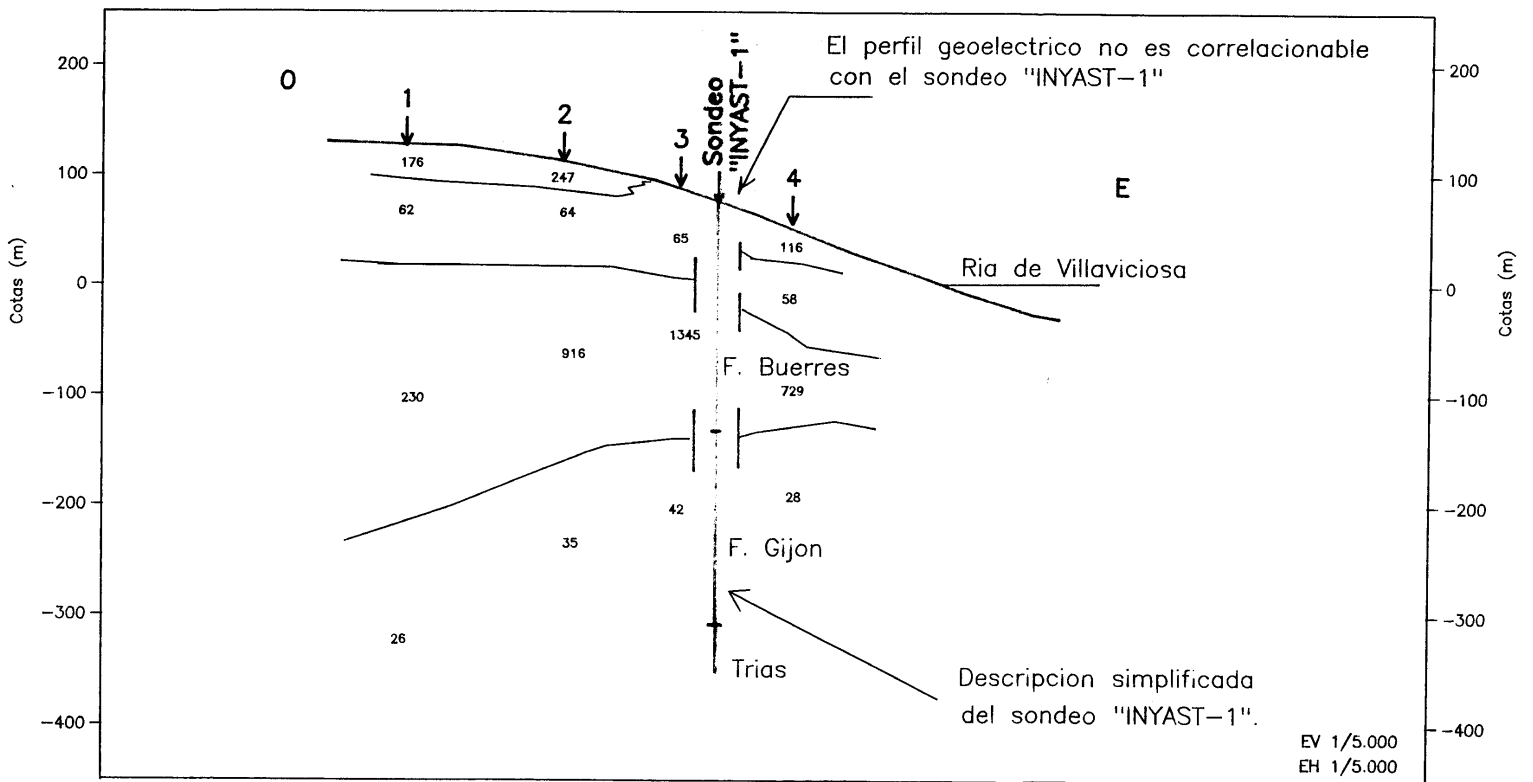
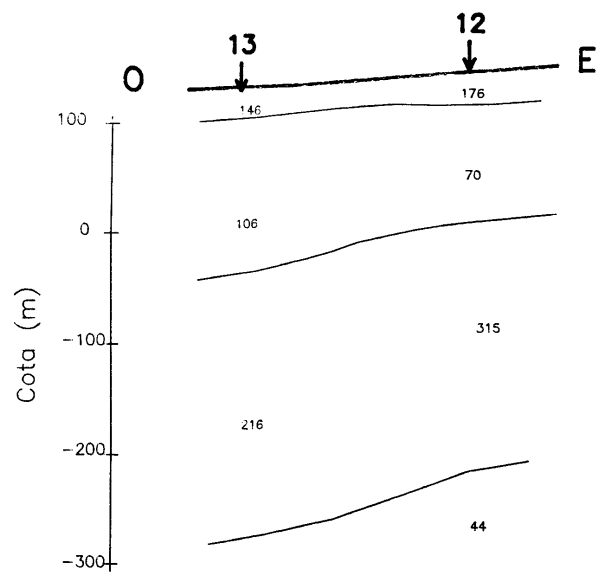
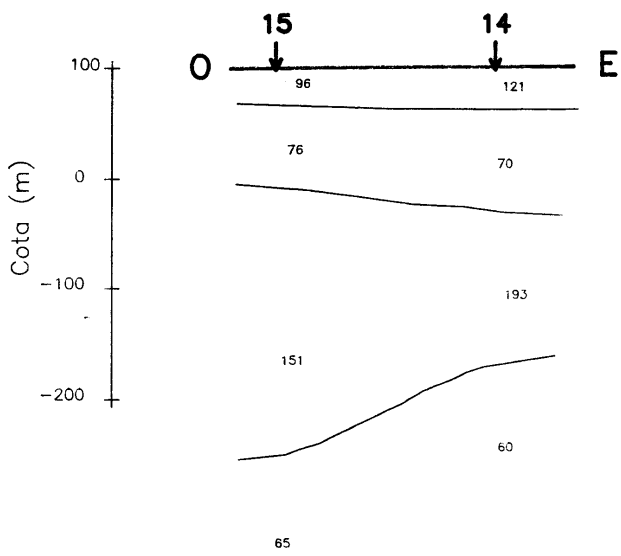


Figura 10 .- Perfil geoelectrico n° 4.



84

Escala V 1/5.000

Escala H 1/5.000

Figura 11.- Perfiles geoelectricos de la zona de Tazones

homogénea en términos de resistividad puede englobar más de una capa de diferente naturaleza geológica, siempre que sus resistividades características sean semejantes.

En todo caso debe tenerse en cuenta que los perfiles geoelectricos reflejan un modelo simplificado relativo a la distribución de unidades del subsuelo con un comportamiento eléctrico diferenciado. Generalmente este modelo puede correlacionarse con las unidades geológicas pero en otros casos tal correlación no es inmediata debido a la influencia de factores tales como la salinidad del agua del subsuelo. Por otra parte la posición precisa de los contactos entre las capas en los perfiles geoelectricos no debe considerarse en términos absolutos sino con un cierto rango de variación. El análisis de equivalencia realizado en algunos SEDT pone de relieve este hecho tal como puede apreciarse en algunos de los gráficos de ANEXO 2 (SEDT 2, 3, 4, 12, 13, 14 y 15).

A la vista de la información obtenida del sondeo «INYAST-1» cabría esperar un modelo geoelectrico con tres unidades diferenciadas:

- «Ritmita» del conjunto de Rodiles, con carácter relativamente conductor debido a su contenido margoso.
- Formación Gijón con un comportamiento relativamente resistivo aunque con previsibles variaciones en función de su grado de karstificación y de la salinidad del agua que la satura.
- Sustrato Triásico, previsiblemente conductor por su contenido arcilloso.

Este modelo parece confirmarse en términos cualitativos por los resultados que presentamos en las secciones o perfiles geoelectricos aunque con una matización de tipo general cual es la discrepancia entre los espesores deducidos del sondeo «INYAST-1» y los obtenidos a partir de los SEDT. Esta

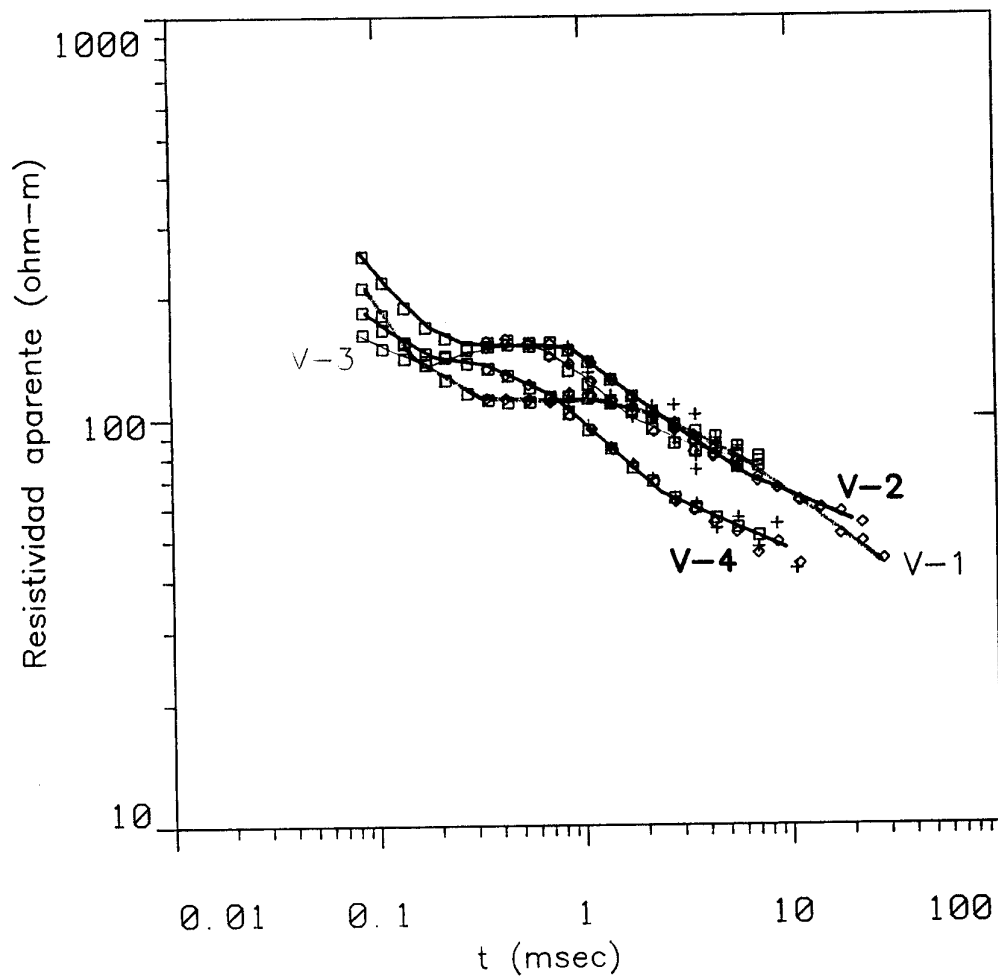


Figura 12.- Curvas de resistividad aparente del Perfil 4.

discrepancia sugiere que muy posiblemente no sea factible asignar de forma directa valores de resistividad a las unidades litológicas del modelo sino que alguna de ellas puede presentar valores atípicos por efecto de la salinidad del agua. Por ejemplo este sería el caso de la formación receptora si estuviera salinizada en cuyo caso su comportamiento sería de tipo conductor y no resistivo como cabría esperar en una primera apreciación.

Respecto a los resultados del Perfil geoelectrico nº 4 donde se ha incluido al sondeo «INYAST-1» cabe referirse como elemento aclaratorio a la Figura 12 donde se agrupan las curvas de resistividad aparente de los SEDT 1,2,3 y 4. Su comparación permite contrastar la consistencia del modelo geoelectrico y sus variaciones cualitativas a lo largo del perfil.

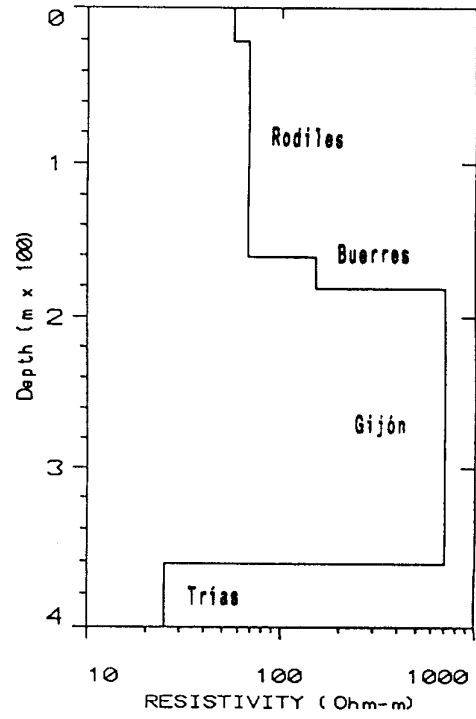
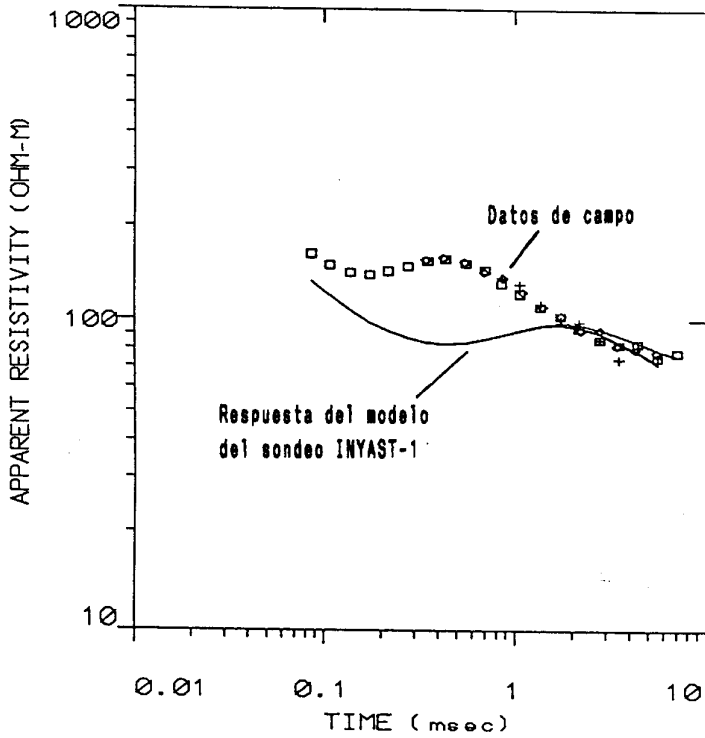
Dada la discrepancia entre los resultados geofisicos y la descripción litológica del sondeo «INYAST-1», se ha prestado una atención especial a la interpretación de los SEDT situados en su entorno. Además de realizar el análisis de equivalencia de los SEDT. 3 y 4 con resultados que mantienen la citada discrepancia. (Ver curvas en el ANEXO 2), se ha calculado la curva de resistividad teórica producida por el modelo geoelectrico del sondeo «INYAST-1» para su comparación con los datos de los SEDT más próximos (números 3 y 4).

El modelo geoelectrico empleado para estos cálculos ha sido el siguiente:

De 0 a 165 m	_____ Ritmita (C. Rodiles)	_____ 70 ohm.m
De 165 a 180 m	_____ F. Buerres	_____ 130 ohm.m
De 180 a 360 m	_____ F. Gijón	_____ 700 ohm.m
A partir de 360 m	_____ Trias	_____ 30 ohm.m

Este modelo es coherente con el conjunto de las medidas realizadas en la zona. Los resultados obtenidos

V-3



Modelo geoelectrico del sondeo «INYAST-1»

V-4

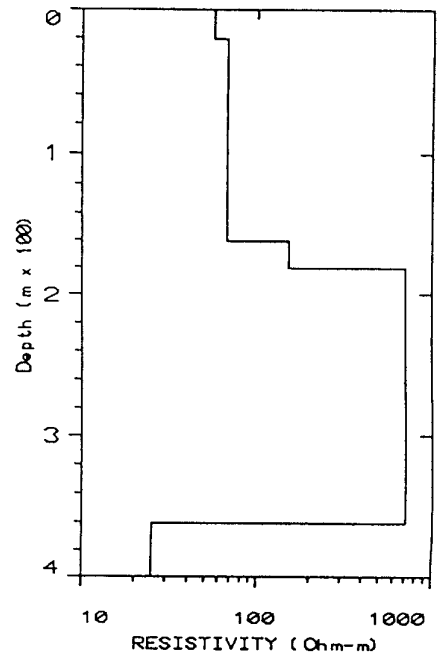
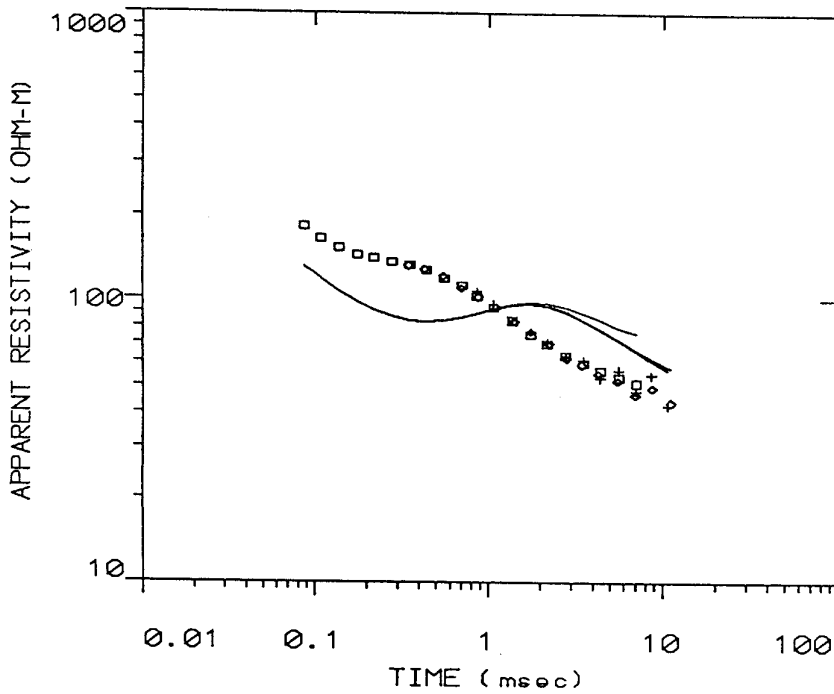


Figura 13. Comparación de la respuesta teórica del modelo correspondiente al sondeo INYAST-1 y los SEDT próximos al mismo.



comparados con los datos de campo de los SEDT 3 y 4 se presentan en la Figura 13. En ella las curvas de trazo continuo corresponden a la respuesta teórica del modelo del sondeo «INYAST-1» y los cuadraditos a los datos de campo. Es obvio que ambas son discrepantes y en consecuencia queda en el aire la interpretación geológica a partir de los datos obtenidos del entorno del sondeo «INYAST-1».

## 7. CONCLUSIONES.

Los resultados obtenidos de la interpretación de las medidas geofísicas conforman un modelo geoelectrico tanto en la zona de Villaviciosa como en la de Tazones adecuado para la aplicación de la metodología de trabajo empleada, por la disposición subhorizontal de las capas y por la existencia de acusados contrastes de resistividad entre ellas. De modo general este modelo se mantiene con características semejantes en la mayoría de los SEDT realizados y le conforman los elementos siguientes, haciendo abstracción de la capa más superficial.

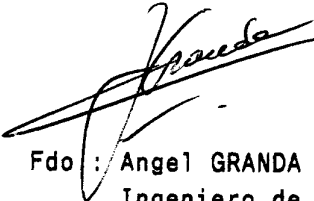
- Una primera capa de carácter relativamente conductor ( $\rho < 100$  ohm.m) y espesor máximo de 150 m.
- Una segunda capa de carácter resistivo (algún centenar de ohm.m) y espesor que llega hasta 200 m en algún caso.
- Sustrato de tipo conductor (resistividad inferior a 100 ohm.m).

De acuerdo con la información geológica disponible cabría establecer a priori una fácil correlación entre la primera capa y la «Ritmita» del conjunto Rodiles, la segunda capa y la Fm. Gijón y el sustrato conductor correspondería al Trias de naturaleza evaporítica.

Este modelo que presenta características semejantes en la mayoría de los puntos medidos en la zona de Villaviciosa no es correlacionable en términos cuantitativos con los datos disponibles (columna litológica) del sondeo «INYAST-1».

Desgraciadamente no se dispone de registros geofísicos del sondeo lo que posibilitaría la mejor explicación, en términos geológicos, de los resultados obtenidos en este estudio geofísico.

Madrid, Abril - 1.994



Fdo : Angel GRANDA  
Ingeniero de Minas.

**ANEXO 1.**

**Características de los equipos y programas empleados.**



## RECEPTOR PROTEM

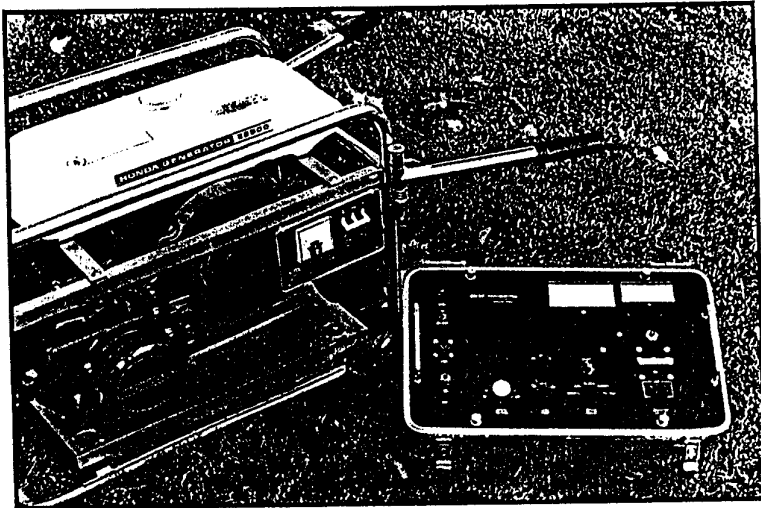
Es bien sabido que existe cierta incompatibilidad entre la profundidad de exploración y la resolución de los objetivos en términos de conductividad, extensión y orientación. La mayor profundidad se obtiene operando con bucles fijos de gran tamaño en la modalidad TURAM que generan amplias respuestas del 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

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

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

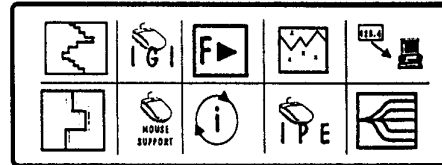
**NOTE: All Transient EM Interpretation programs require a math coprocessor.**

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.

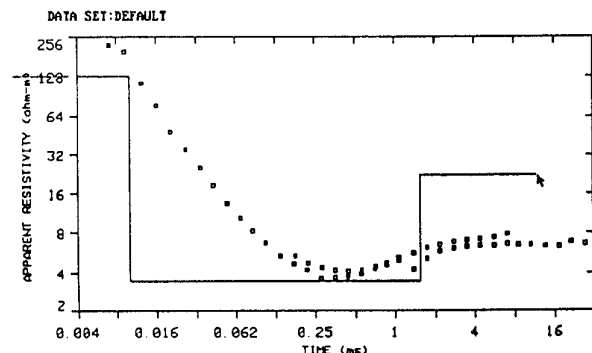
## TEMIX Family Features



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 on Quit enter key  
 LAYER #: 128.303 3.4487 22.2414  
 RESIST.: 17.6591 50.6637 162.018  
 DEPTH:

**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.

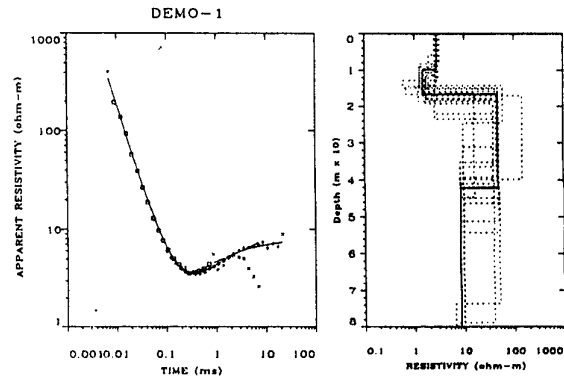
Inverse modeling allows you to obtain a model that best fits the data in a least squares sense. This is done using ridge regression (Inman, 1975, Geophysics, 40, pp 798-817) to iteratively adjust the parameters of a starting model supplied by the user. You can constrain some of the starting model parameters 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.

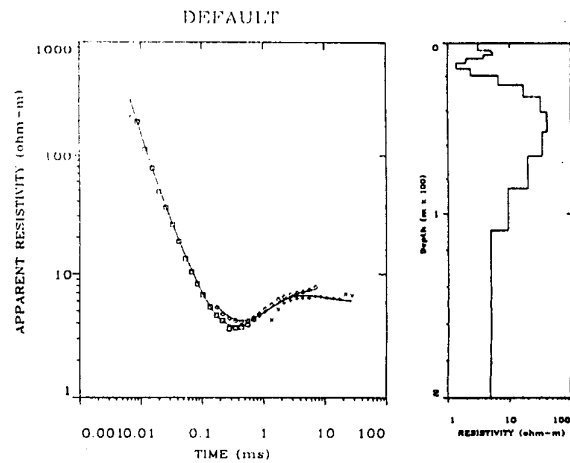
**TEMIX** provides several options to present the observed data, the theoretical (forward) data, and the geological model section used to calculate the forward response. This information can be graphically presented in a plate-style format or individually on a dot matrix printer, a laser printer, or 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.

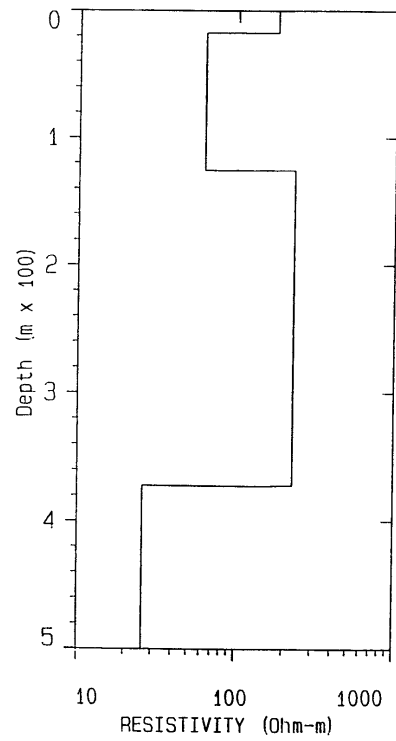
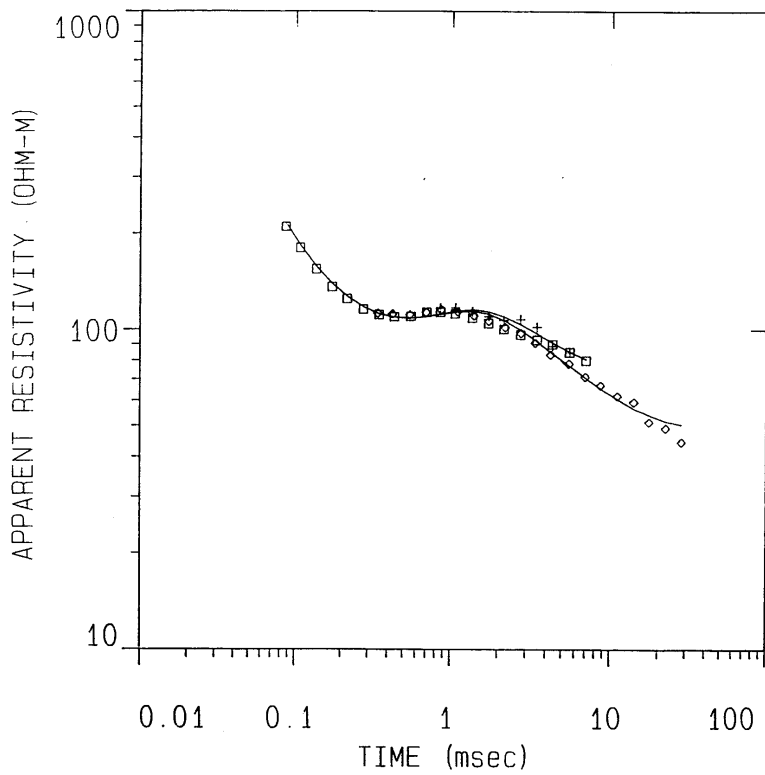
## TEMIX PROGRAM SPECIFICATION TABLE

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

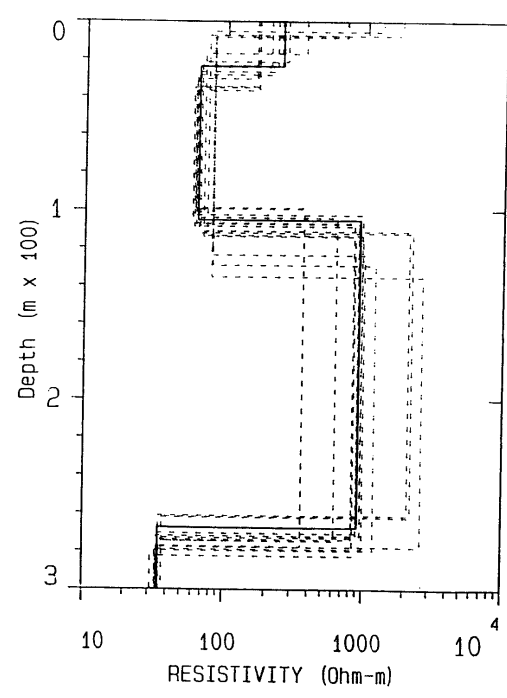
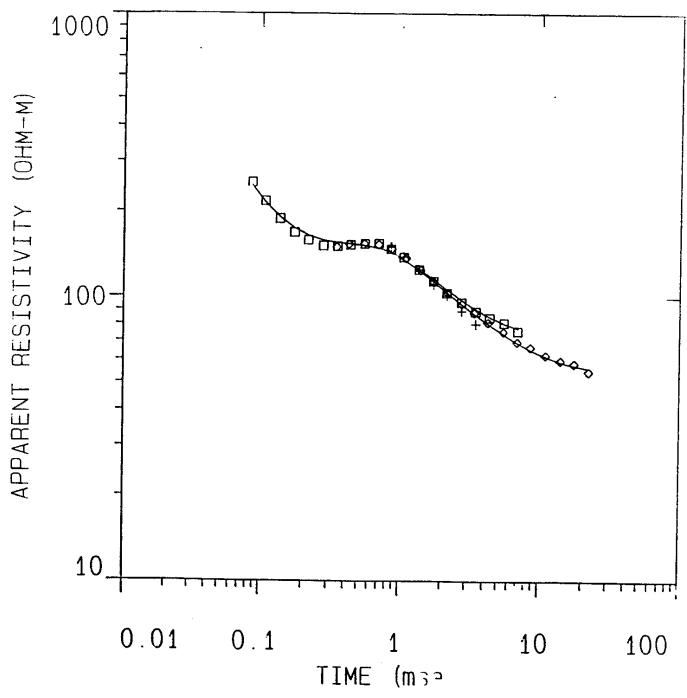
**ANEXO 2.**

**Curvas de resistividad aparente y su interpretación.**

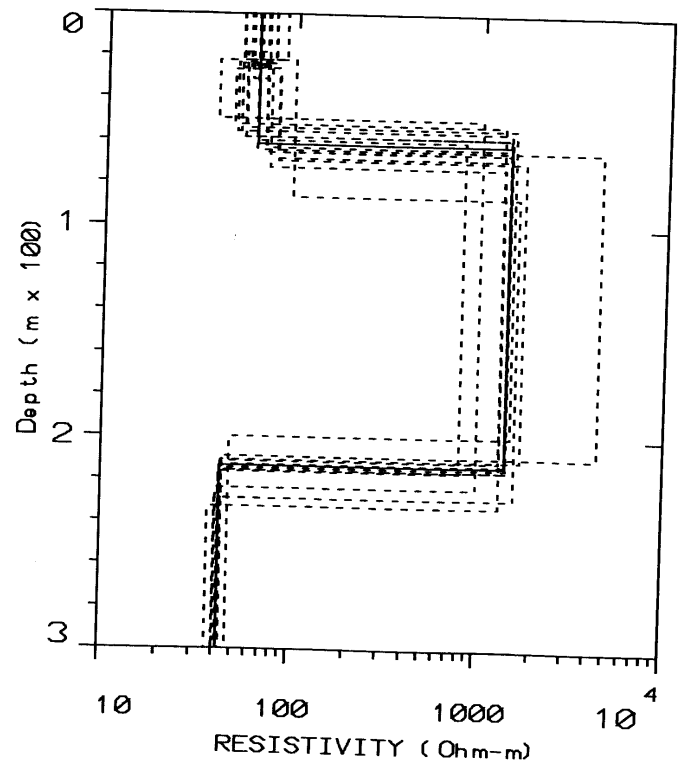
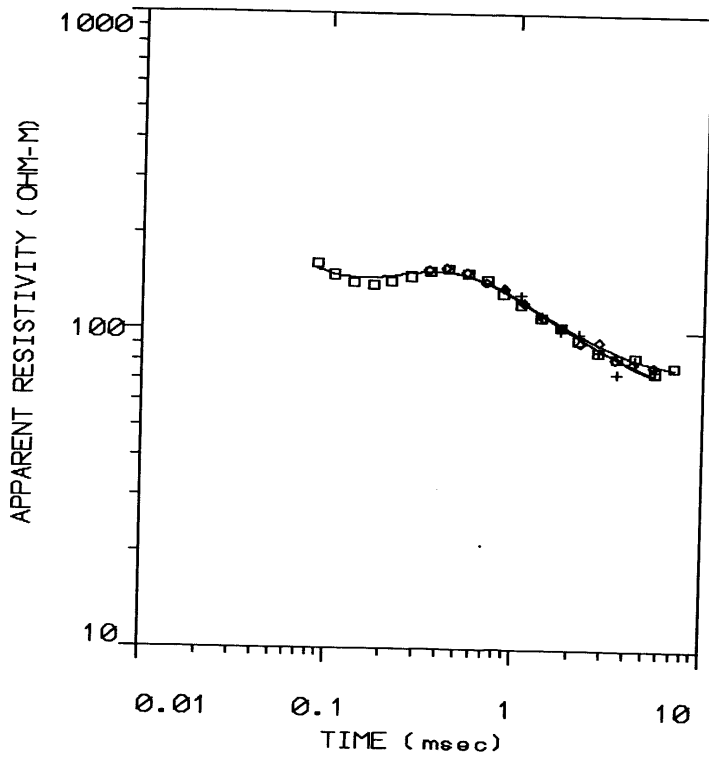
V-1



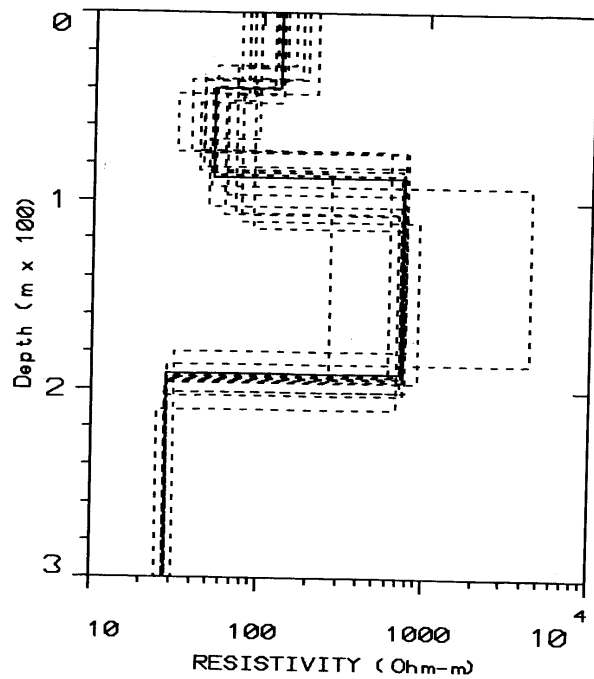
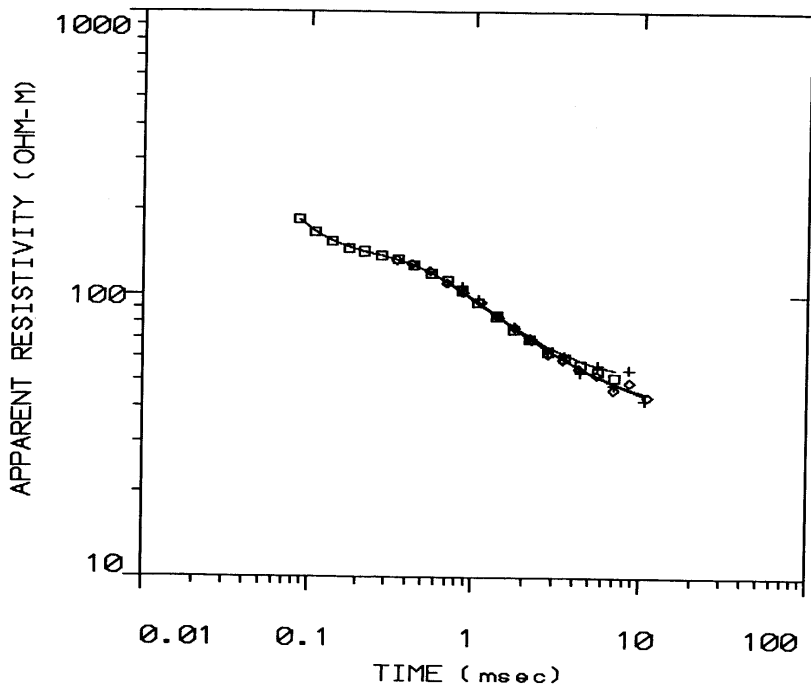
V-2



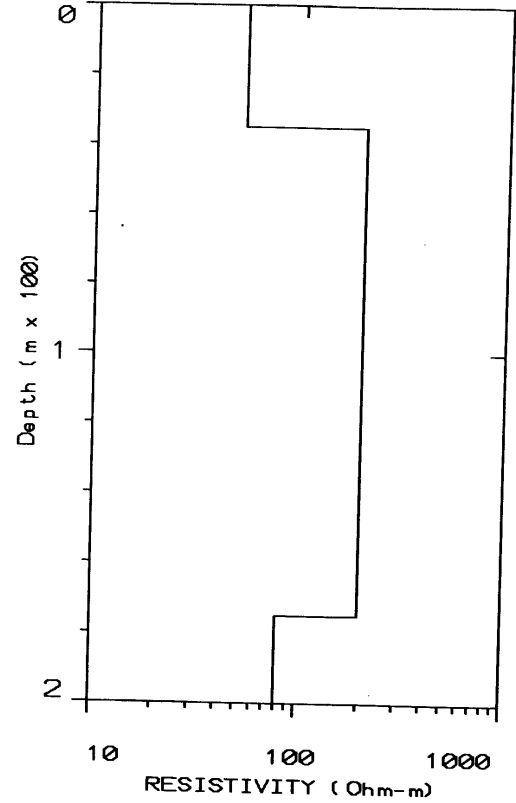
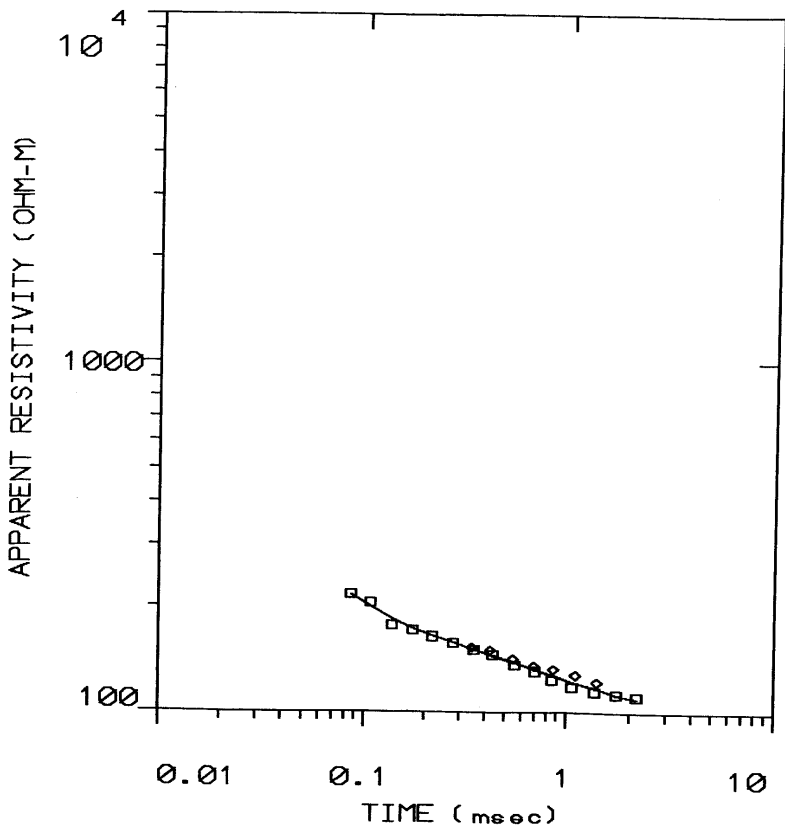
V-3



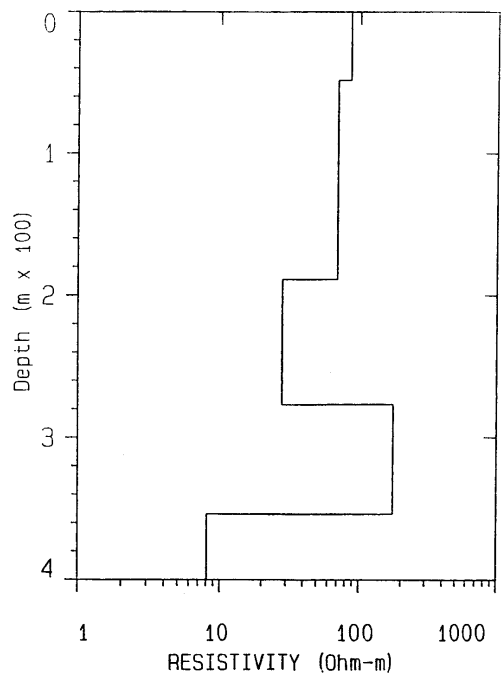
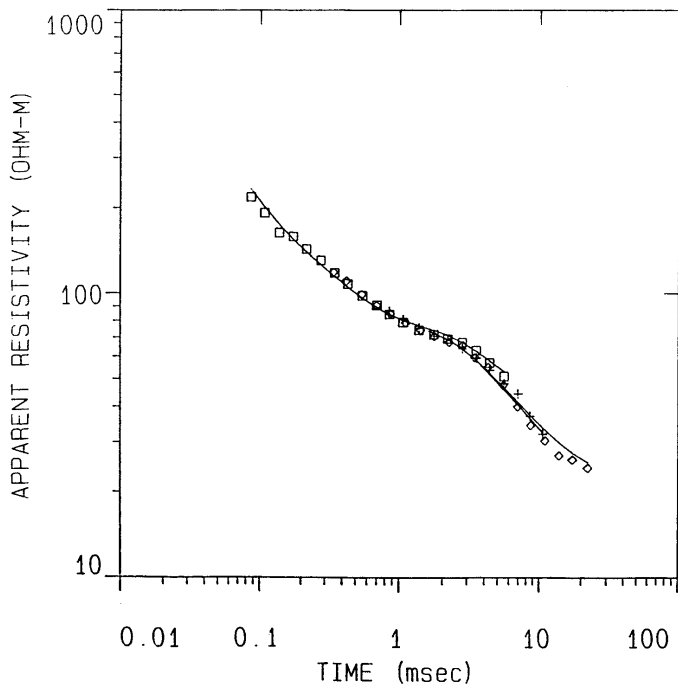
V-4



V-5

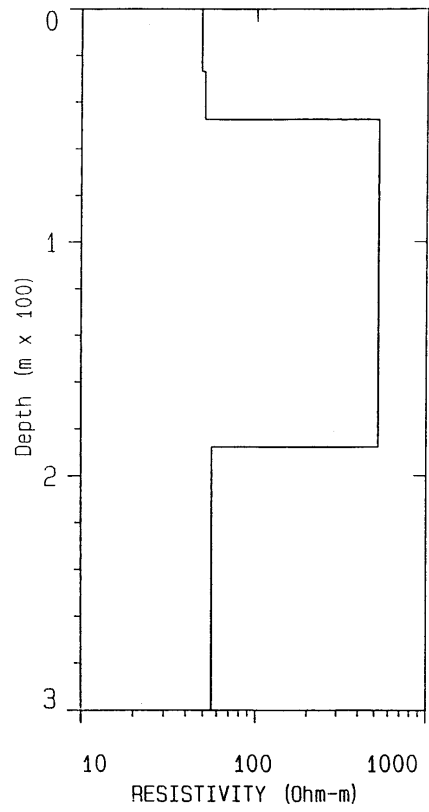
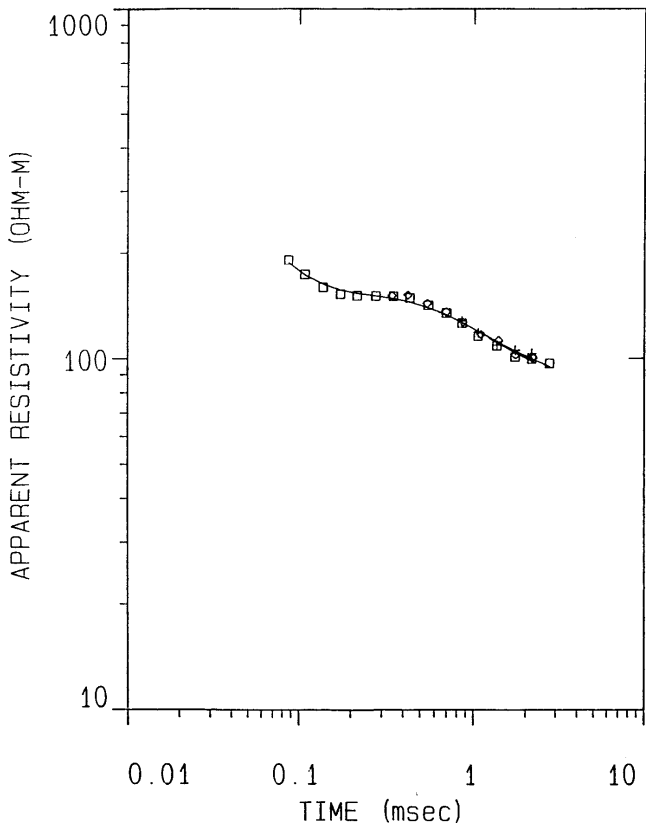


V-6

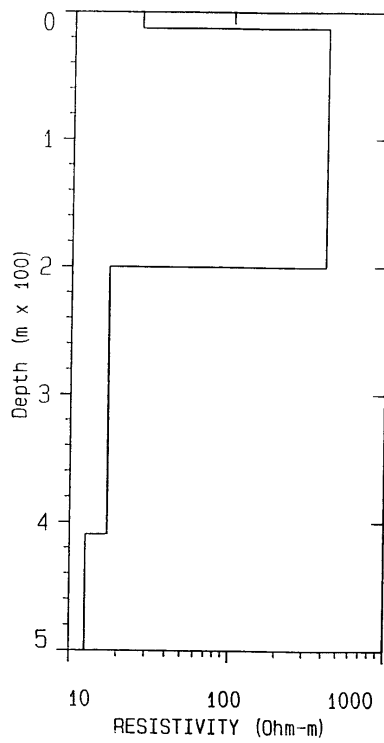
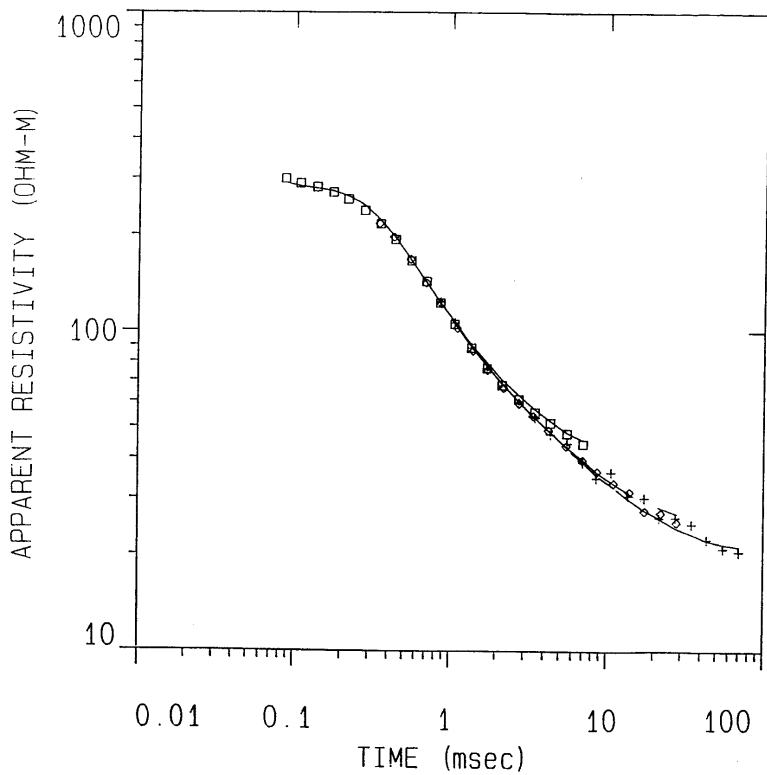




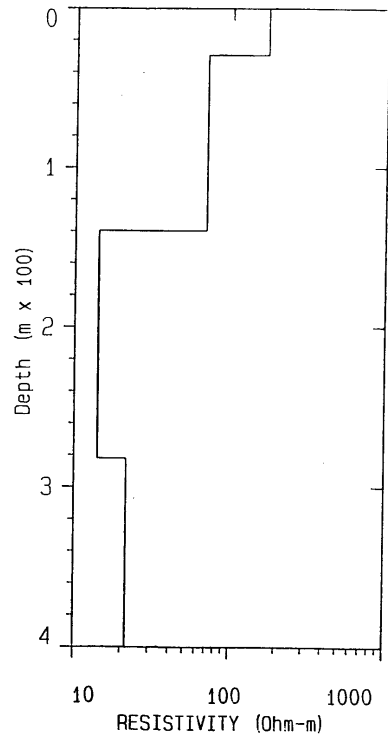
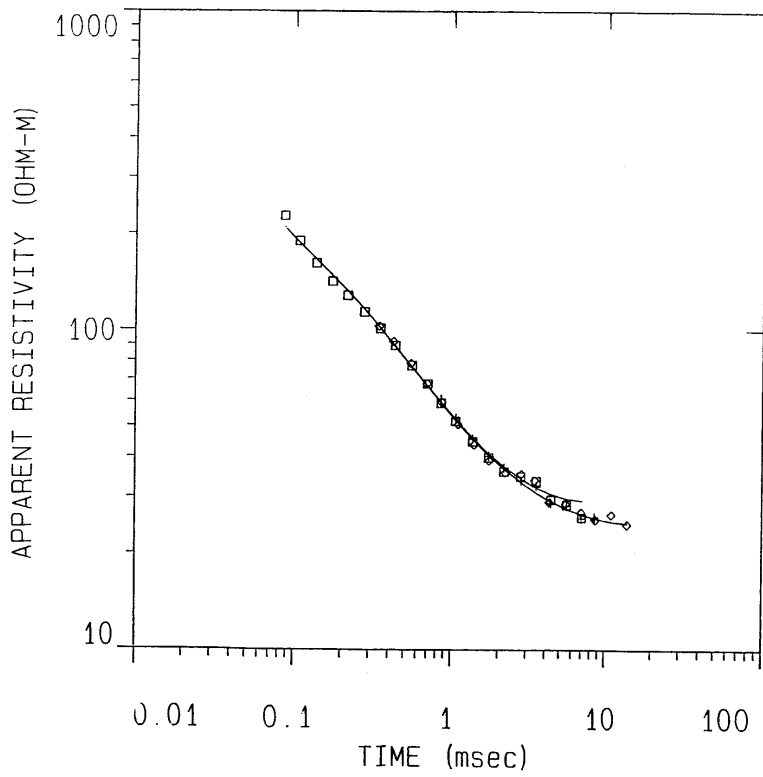
V-7



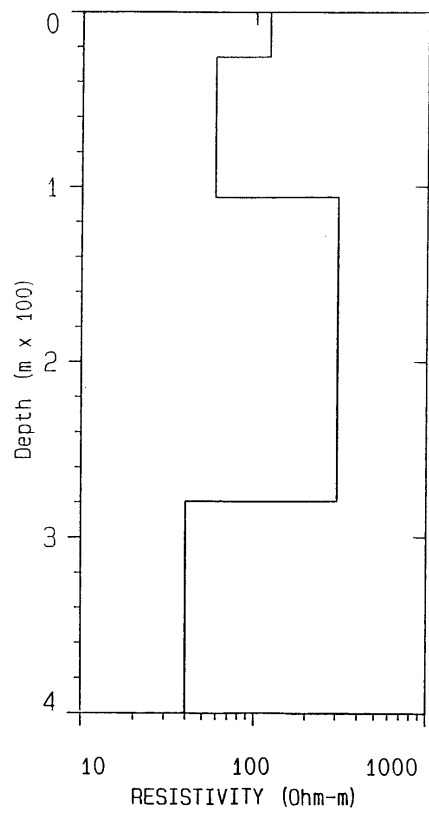
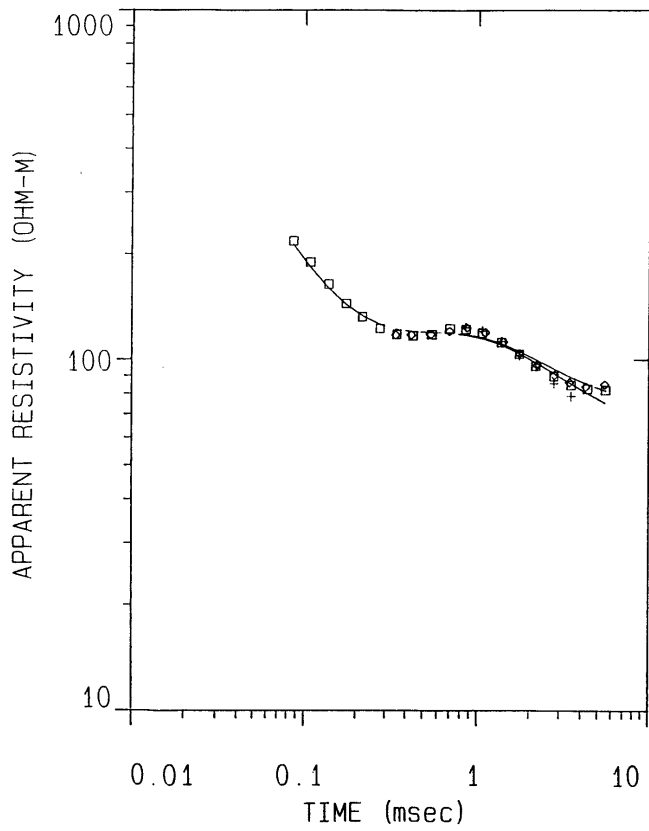
V-8



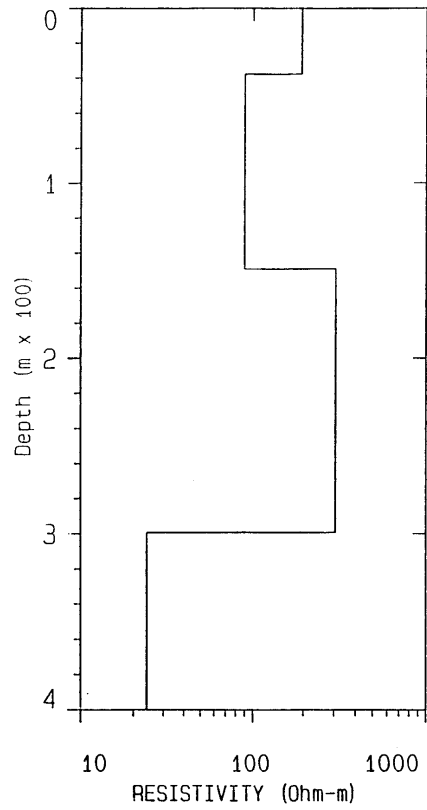
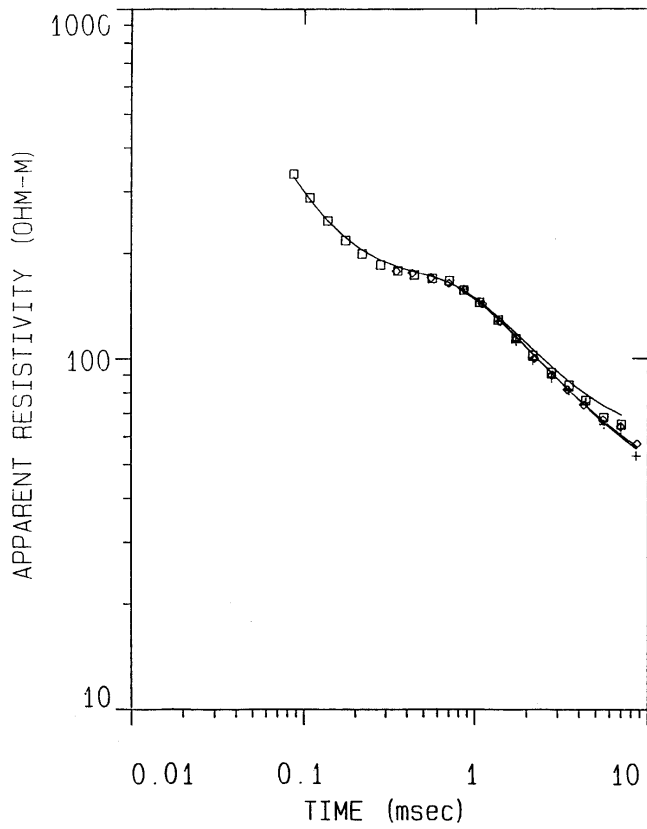
V-9



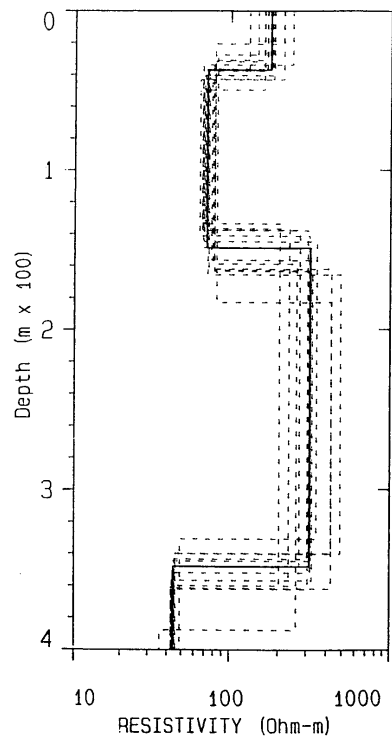
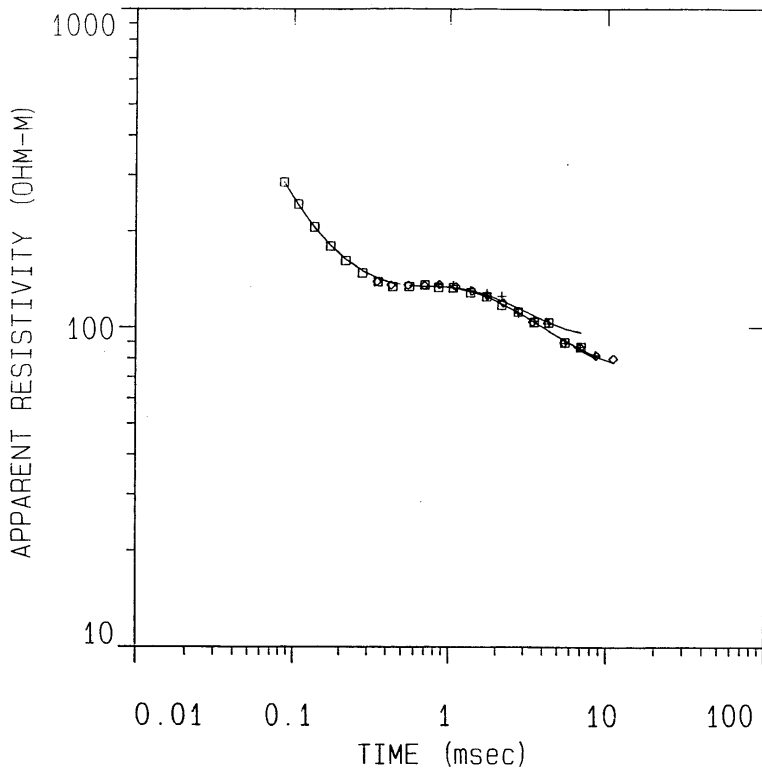
V-10



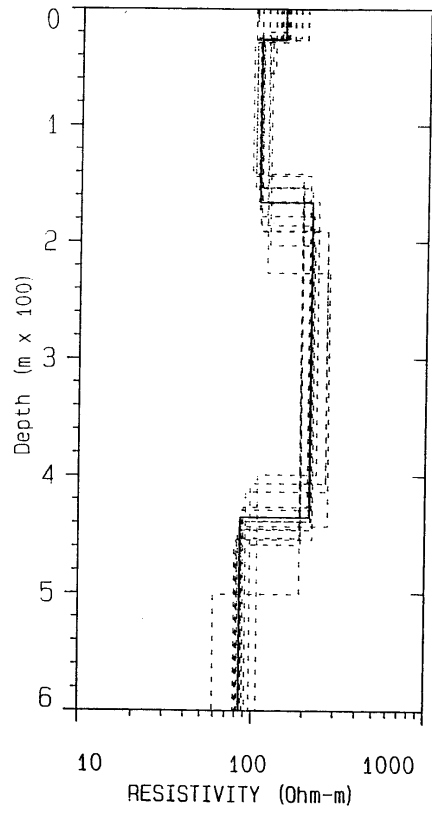
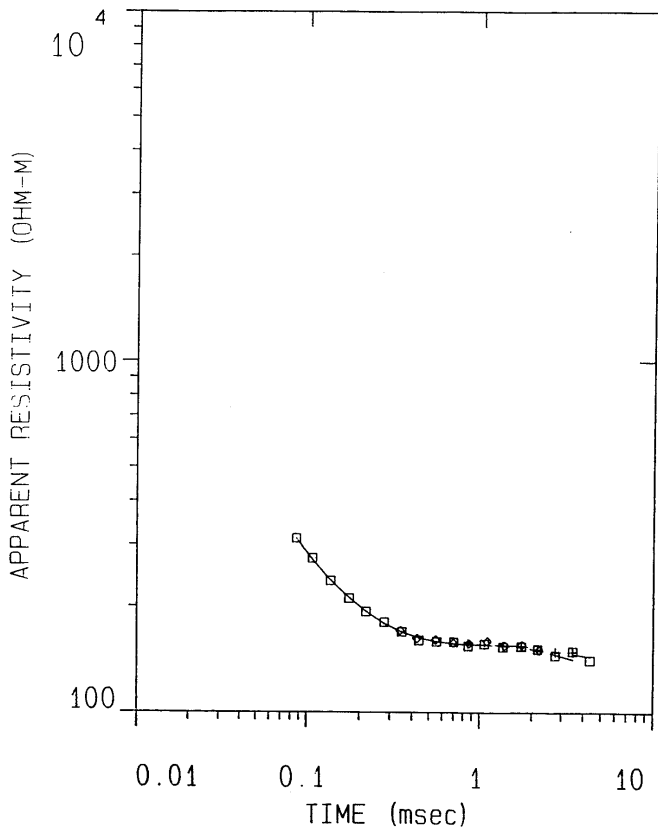
V-11



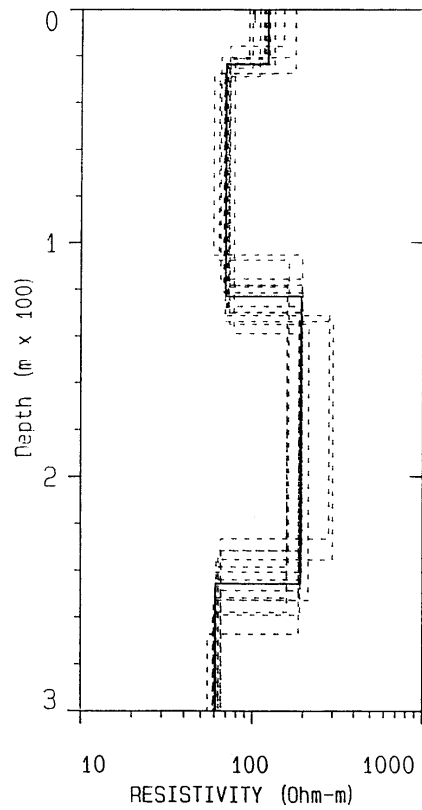
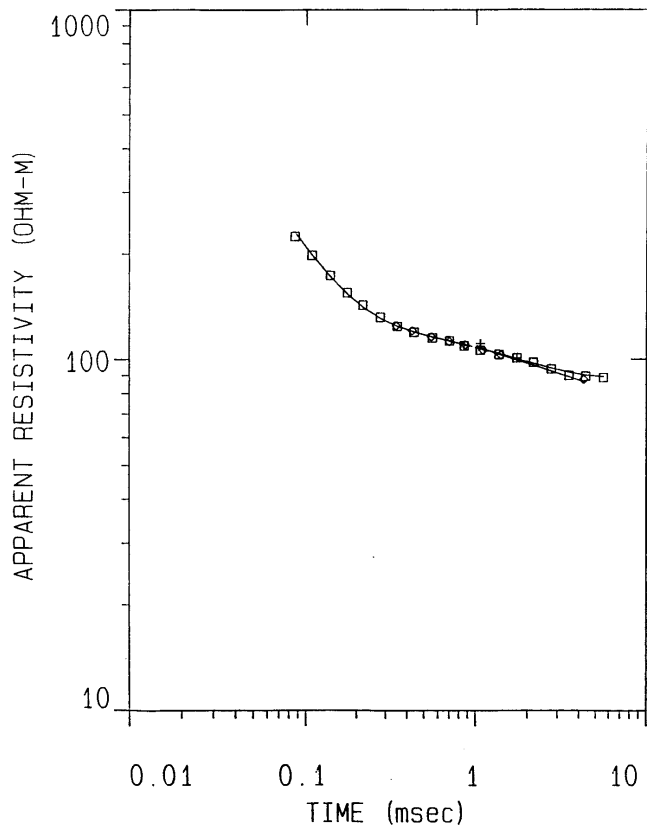
V-12



V-13

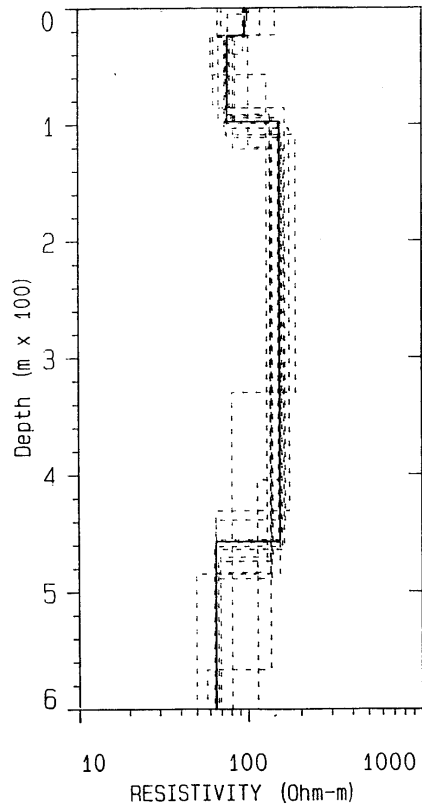
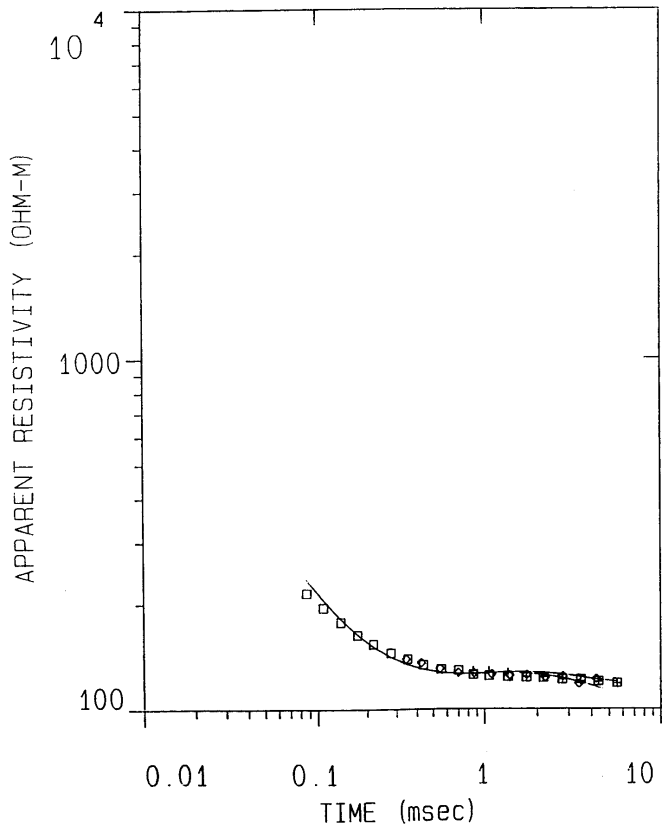


V-14





V-15



**ANEXO 3.**

**Descripción de los ficheros digitales.**

Información correspondiente a un SEDT del fichero VILLAV.TMX.

## DATA SET: V-3

CLIENT: ITGE  
 LOCATION: S3 3E  
 COUNTY: ASTURIAS  
 PROJECT: APOYO GEOFISICO  
 LOOP SIZE: 100.000 m by 100.000 m  
 COIL LOC: 0.000 m (X), 0.000 m (Y)  
 SOUNDING COORDINATES: X: 0.0000 Y: 0.0000

DATE: 4-94  
 SOUNDING: 3  
 ELEVATION: 0.00 m  
 EQUIPMENT: Geonics PROTEM

FITTING ERROR: 5.811 PERCENT

L #	RESISTIVITY (ohm-m)	THICKNESS (meters)	ELEVATION (meters)	CONDUCTANCE (Siemens)
			0.0	
1	56.53	20.85	-20.85	0.368
2	67.22	43.85	-64.70	0.652
3	1345.2	148.9	-213.7	0.110
4	42.53			

ALL PARAMETERS ARE FREE

CURRENT: 27.00 AMPS EM-37  
 FREQUENCY: 25.00 Hz GAIN: 5  
 COIL AREA: 100.00 sq m.  
 RAMP TIME: 120.00 muSEC

No.	TIME (ms)	emf (nV/m sqrd)		DIFFERENCE (percent)
		DATA	SYNTHETIC	
1	0.0866	29932.2	32822.6	-9.65
2	0.107	19452.9	20153.6	-3.60
3	0.137	11472.5	11279.9	1.67
4	0.174	6487.5	6242.2	3.78
5	0.217	3579.6	3538.5	1.14
6	0.277	1852.3	1869.3	-0.917
7	0.350	972.8	1019.5	-4.80
8	0.437	548.8	585.7	-6.72
9	0.557	314.7	329.9	-4.84
10	0.701	189.2	198.9	-5.13
11	0.857	132.4	130.5	1.48
12	1.06	86.25	84.37	2.18
13	1.36	53.20	50.97	4.18
14	1.73	32.38	31.82	1.74
15	2.16	21.47	20.20	5.92
16	2.76	13.19	12.28	6.87

\* INTERNATIONAL GEOPHYSICAL TECHNOLOGY \*

No.	TIME (ms)	emf (nV/m sqrd)		DIFFERENCE (percent)
		DATA	SYNTHETIC	
17	3.49	7.81	7.40	5.26
18	4.36	4.45	4.57	-2.79
19	5.55	2.84	2.63	7.57
20	7.02	1.50	1.52	-1.12

CURRENT: 27.00 AMPS EM-37 COIL AREA: 100.00 sq m.  
 FREQUENCY: 6.50 Hz GAIN: 7 RAMP TIME: 120.00 muSEC

No.	TIME (ms)	emf (nV/m sqrd)		DIFFERENCE (percent)
		DATA	SYNTHETIC	
21	0.344	1008.5	1069.7	-6.06
22	0.425	581.9	629.5	-8.17
23	0.548	322.8	343.8	-6.50
24	0.696	197.6	203.0	-2.76
25	0.867	121.6	128.3	-5.55
26	1.10	77.00	79.05	-2.67
27	1.40	50.15	49.38	1.54
28	1.74	31.86	32.15	-0.902
29	2.21	20.76	19.88	4.26
30	2.78	11.62	12.63	-8.75
31	3.41	8.38	8.25	1.56
32	4.25	5.06	5.25	-3.75
33	5.48	2.77	3.05	-9.95

CURRENT: 27.00 AMPS EM-37 COIL AREA: 100.00 sq m.  
 FREQUENCY: 2.50 Hz GAIN: 7 RAMP TIME: 120.00 muSEC

No.	TIME (ms)	emf (nV/m sqrd)		DIFFERENCE (percent)
		DATA	SYNTHETIC	
34	0.856	124.7	131.6	-5.54
35	1.06	78.12	85.15	-8.99
36	1.36	51.58	51.70	-0.239
37	1.73	33.58	32.50	3.23
38	2.16	19.94	20.82	-4.41
39	2.76	13.19	12.84	2.64
40	3.49	9.25	7.89	14.74
41	4.36	4.57	5.00	-9.37
42	5.55	2.81	2.99	-6.59

PARAMETER RESOLUTION MATRIX:  
"F" INDICATES FIXED PARAMETER

P 1	0.60							
P 2	0.25	0.78						
P 3	-0.01	-0.01	0.01					
P 4	0.00	0.02	0.00	0.98				
T 1	-0.02	-0.02	-0.02	0.00	0.23			
T 2	0.13	-0.17	-0.05	0.03	0.24	0.73		
T 3	-0.03	0.03	0.05	0.01	0.01	0.02	0.99	
	P 1	P 2	P 3	P 4	T 1	T 2	T 3	

## V-3.TEM

1	8.6620E-02	2.9932E+04
2	1.0792E-01	1.9453E+04
3	1.3792E-01	1.1473E+04
4	1.7492E-01	6.4875E+03
5	2.1792E-01	3.5797E+03
6	2.7792E-01	1.8524E+03
7	3.5092E-01	9.7289E+02
8	4.3792E-01	5.4882E+02
9	5.5792E-01	3.1475E+02
10	7.0192E-01	1.8924E+02
11	8.5792E-01	1.3250E+02
12	1.0659E+00	8.6252E+01
13	1.3699E+00	5.3203E+01
14	1.7399E+00	3.2390E+01
15	2.1699E+00	2.1473E+01
16	2.7699E+00	1.3196E+01
17	3.4999E+00	7.8125E+00
18	4.3699E+00	4.4536E+00
19	5.5599E+00	2.8491E+00
20	7.0299E+00	1.5034E+00

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/m<sup>2</sup>

## VILLASED.DAT

SEDT	X	Y	Z
1	306641.1	4823306	120
2	306803.3	4823287	120
3	306876.8	4823149	80
4	306976.8	4823091	30
5	306747.5	4823162	100
6	306653.7	4822927	55
7	306559.9	4822699	130
8	306770.2	4822611	120
9	307045.1	4822522	50
10	306713.3	4823520	135
11	306753.9	4823696	130
12	306211.7	4823974	100
13	305981.1	4823979	110
14	306470.1	4823628	143
15	306259.8	4823632	140

Contenido del fichero VILLASED.DAT con las coordenadas de los puntos de medida.