



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

**APOYO GEOFISICO A
INVESTIGACIONES MINERAS EN
DISTINTAS AREAS DEL MACIZO
HESPERICO. 1991/92.**

**INVESTIGACION DE FELDESPATOS
EN LAS ZONAS DE SILAN Y
LA QUINTA. LUGO 1.992.**



MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO

40418

INDICE.

| | |
|--|-----|
| 1. INTRODUCCION | 1. |
| 2. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS | 4. |
| 3. METODOLOGIA | 6. |
| 3.1. Calicatas Eléctricas | 6. |
| 3.2. SEDT | 9. |
| 4. TRABAJOS REALIZADOS | 12. |
| 4.1. Duración y equipo de trabajo | 12. |
| 4.1.1. Administración (Silán) | 12. |
| 4.1.2. Por contrata (La Quinta) ... | 13. |
| 4.2. Instrumentación | 14. |
| 4.2.1. Equipo de resistividades ... | 14. |
| 4.2.2. Magnetometría | 14. |
| 4.2.3. SEDT | 14. |
| 4.3. Perfiles medidos | 15. |
| 4.3.1. Zona de Silán | 15. |
| 4.3.2. Zona La Quinta | 16. |
| 4.4. Metrología | 16. |
| 5. TRATAMIENTO DE DATOS | 18. |
| 5.1. Calicatas eléctricas | 18. |
| 5.2. Magnético | 19. |
| 5.3. Geología | 19. |
| 5.4. SEDT | 20. |
| 6. INTERPRETACION 1. SILAN | 21. |
| 6.1. Modelización | 21. |
| 6.2. Enumeración y descripción de anomalías | 26. |
| 6.2.1. Resistividades | 26. |
| 6.2.1.1. Perfiles polo-dipolo | 26. |
| 6.2.1.2. Calicatas polo-polo | 33. |
| 6.2.1.3. Calicatas dipolo-dipolo .. | 33. |
| 6.2.2. Magnetometría | 37. |
| 6.3. Planos de síntesis de anomalías ... | 37. |

| | |
|--------------------------------------|-----|
| 7. INTERPRETACION 2. LA QUINTA | 40. |
| 8. CONCLUSIONES | 44. |
| 9. BIBLIOGRAFIA. | |

INDICE DE FIGURAS.

- Nº 1.- Situación de los trabajos E. 1/200.000.
- Nº 2.- Calicata trielectrónica combinada sobre el modelo dique-dique para $n=1, 2$ y 4 .
- Nº 3.- Calicata trielectrónica combinada. Perfil 1.
- Nº 4.- Calicata trielectrónica combinada. Perfil 2.
- Nº 5.- Calicata trielectrónica combinada. Perfil 3.
- Nº 6.- Calicata trielectrónica combinada. Perfil 4.
- Nº 7.- Calicata trielectrónica combinada. Perfil 5.
- Nº 8.- Calicata trielectrónica combinada. Perfil 6.
- Nº 9.- Perfiles polo-polo 1,2 y 3.
- Nº 10.- Perfiles polo-polo 4,5 y 6.
- Nº 11.- Perfiles magnetometría.
- Nº 12.- Ejemplo de respuesta de un medio resistivo en la curva de potencial normalizado.
- Fig. 13.- Ejemplo de respuesta de un medio resistivo en la curva de resistividad aparente.

INDICE DE PLANOS.

- Nº 1.- Magnetometria en Silán: Campo total y esquema geológico simplificado E 1/2.000.
- Nº 2.- Situación de los SEDT en La Quinta. E 1/2.000.
- Nº 3.- Respuesta de un modelo dique-dique a los dispositivos eléctricos utilizados E 1/2.000.
- Nº 4.- Respuesta de un modelo dique-dique con estratificación a los dispositivos eléctricos utilizados. E 1/2.000.
- Nº 5.- Perfiles 1,2 y 3 dipolo-dipolo. E 1/1.000.
- Nº 6.- Perfiles 4,5 y 6 dipolo-dipolo. E 1/1.000.
- Nº 7.- Perfiles 2,4 y 6 dipolo-dipolo. (25 m). E 1/1.000.
- Nº 8.- Valores promediados de resistividad en Silán. E 1/2000.
- Nº 9.- Síntesis de anomalías en Silán. E 1/2.000.

INTRODUCCION

1. INTRODUCCION.-

El presente Informe describe dos campañas geofísicas, una de Calicatas Eléctricas y Magnetometría, y otra de Sondeos Electromagnéticos en el Dominio de Tiempos (SEDT), realizadas, respectivamente, en las zonas de Silán y La Quinta (Lugo). Ambas tuvieron el objetivo de apoyar los trabajos de investigación de feldespatos que actualmente realiza la oficina del INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA en Santiago de Compostela.

Más concretamente, la primera campaña se sitúa en la zona del Pico de Escoiras de la Sierra del Gistral en Silán y la segunda, en la margen E de la Ría de Foz, en la concesión La Quinta. En la Figura 1 se aprecia la localización de ambas.

Los trabajos geofísicos en Silán se han realizado por el Servicio de Geofísica del ITGE, en el periodo de Julio a Agosto de 1.992 con cargo al Proyecto por Administración «Apoyo Geofísico a Cartografía del subsuelo 1.991-1.994» y han consistido en la medición de un total de 8'2 Km de calicatas eléctricas (dipolo-dipolo, polo-polo y trielectrónicas combinadas) y 265 puntos de magnetometría.

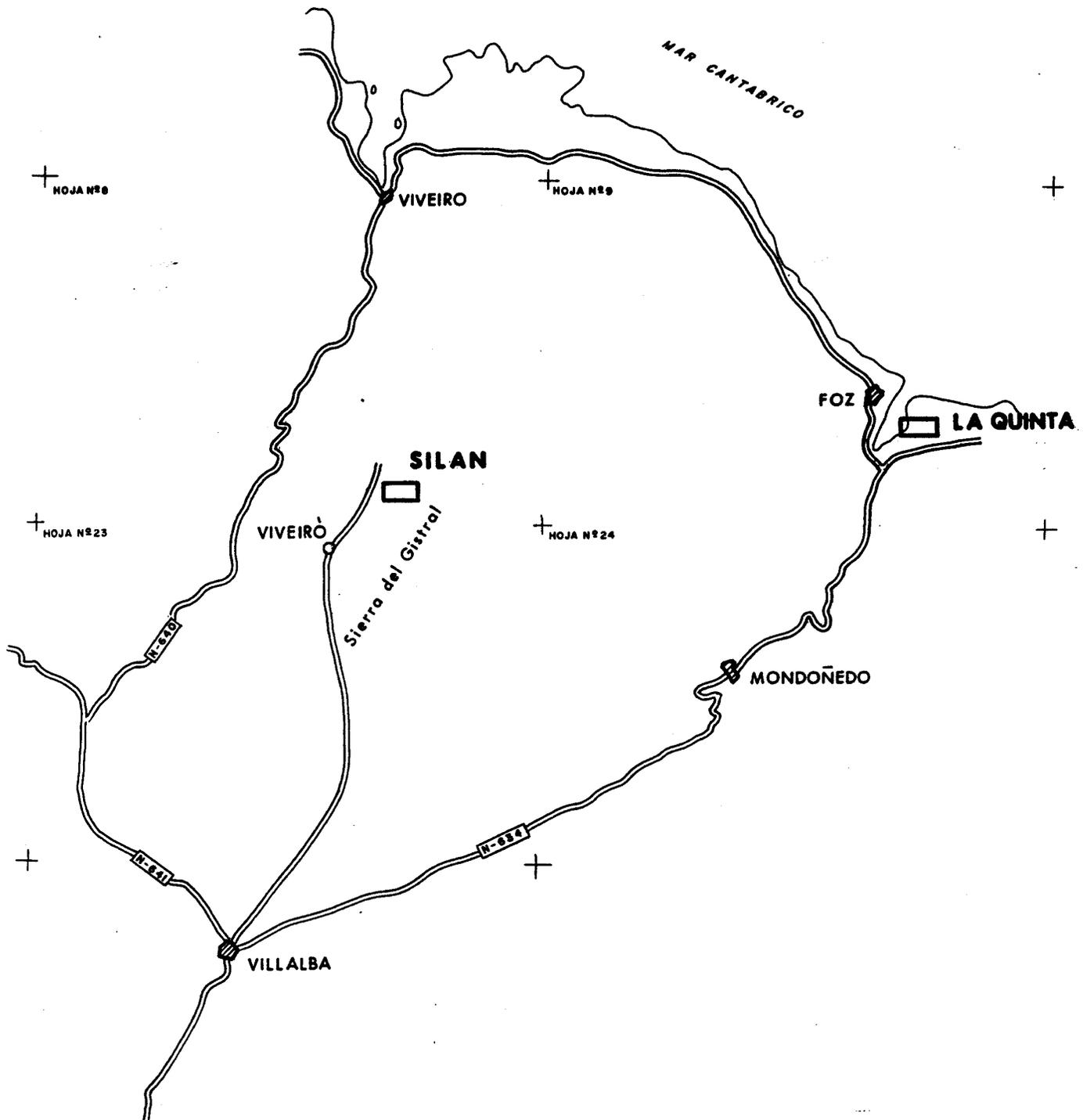
En La Quinta, la ejecución de los trabajos fue realizada por INTERNATIONAL GEOPHYSICAL TECHNOLOGY, S.A. (IGT), adjudicataria del Proyecto «Apoyo geofí-

sico a investigaciones mineras en diversas áreas del Macizo Hespérico 1.991-92», a cuyo cargo se financió la campaña.

Esta segunda campaña consistió en la medida a interpretación de 14 SEDT y se llevó a cabo durante el mes de Septiembre de 1.992.

FIG. N° 1. PLANO DE SITUACION DE LOS TRABAJOS

ESCALA 1:300.000



ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

2. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS.-

Los trabajos que se describen en este Informe tienen el carácter de ensayo de evaluación de la respuesta geofísica de rocas ricas en feldespatos (pegmatitas feldespáticas en el caso de Silán, feldespato sódico en La Quinta) en un entorno geológico de metasedimentos paleozoicos y mesozoicos de composición variable.

Se eligieron ambos yacimientos como zonas de ensayo por considerarse suficientemente conocidos y característicos de una problemática presente en áreas más extensas, susceptibles de posterior investigación, extrapolar los resultados que eventualmente se pudieran obtener.

La base del Plano nº 1, además de las referencias topográficas y posicionamiento de estaciones en Silán, está constituida por una digitalización de la cartografía suministrada por el concesionario de la explotación del yacimiento. Las unidades litológicas fundamentales son tres: el granito subyacente que aflora al W de la zona de estudio, la migmatita (gneises y micaesquistos) y los diques pegmatíticos que cortan a la anterior disponiéndose aproximadamente en dirección N-S con buzamiento medio alto al E. La potencia de los diques varía de pocos metros a algunas decenas de metros.

En La Quinta, Plano nº 2, el feldespató sódico se presenta en forma de sill subafiorante (10-15° de buzamiento al SE), interestratificado en una serie detritica de carácter pizarroso.

METODOLOGIA

3. METODOLOGIA.-

La aplicación de métodos geofísicos en la prospección de rocas industriales es y ha sido escasa, pues éstas no constituyen un objetivo clásico para los mismos. Ya que a priori la resistividad eléctrica es el parámetro geofísico que puede presentar uno de los mejores rangos de variación en diferentes contextos geológicos, el método de resistividades, sea en corriente continua o alterna, ofrece características favorables y por ello es el más usado para este tipo de estudios.

Dado que en Silán se trata de detectar estructuras buzantes, son en principio aplicables diferentes modalidades de calicatas eléctricas. En La Quinta, al tratarse de un cuerpo subhorizontal, parece más correcto el uso de alguna modalidad de sondeo eléctrico y concretamente los SEDT debido a las condiciones logísticas de la zona.

3.1. CALICATAS ELECTRICAS.-

Supuesta la condición necesaria del contraste de resistividades, si se decide realizar una campaña de calicatas eléctricas se deben determinar una serie de parámetros como la longitud, separación y dirección de los perfiles (que dependerán del conocimiento geológico estructural disponible y de la fase en que se encuentre la investigación ya sea de reconocimiento o de detalle), el tipo de dispositivo y el espaciado entre lecturas.

La selección del dispositivo es un problema complejo que depende de un buen número de factores (Coggon 1.973. Ward 1.990, Apparao 1.991 realizan comparaciones entre dispositivos) tales como:

- Relación señal/ruido.
- Sensibilidad de la resolución lateral.
- Resolución de estructuras buzantes.
- Resolución de capas horizontales.
- Profundidad de exploración y sensibilidad a la misma.
- Sensibilidad frente a heterogeneidades superficiales.
- Sensibilidad frente a la topografía.

En general estos autores coinciden en que la respuesta de los dispositivos electródicos comunes es poco conocida ante situaciones geológicas diversas. Más aún, con frecuencia los perfiles registrados son inadecuados y poco ajustados a los problemas que se les plantean. Se requiere con urgencia una reevaluación de la visión sobre la prospección galvánica.

Merecen citarse, por su enfoque globalizador, los trabajos del NGRI (según A. Apparao 1.991), acerca de la amplitud y forma de las anomalías según distintos dispositivos, sus profundidades de investigación y detección, sus capacidades de resolución, etc.

La conclusión que debe extraerse en cuanto a la elección del dispositivo es que se recomienda la utilización de varios, más aún tratándose de ensayos, comparando la respuesta con modelos teóricos. La configuración de mejores características es la que proporcione anomalías más intensas, bien localizadas respecto a los objetos que las producen, y de geometría lo más simple posible.

En cuanto a la decisión respecto al espaciado o distancia entre electrodos de medida, que es la mayoría de las veces la variable crítica, cabe señalar:

- 1) El intervalo electródico (intervalo dipolar) suele estar comprendido entre 100 m (reconocimiento) y 10 m (detalle) estando en relación con la separación de los perfiles y el número de niveles de medición.
- 2) A mayor espaciado mayor avance en la adquisición de datos y por tanto costes unitarios inferiores.
- 3) A mayor espaciado mayor será la penetración del dispositivo y por tanto la profundidad de exploración.

Los factores 2) y 3), aún siendo atractivos, puede que no sean los más convenientes para la localización de los objetivos por las siguientes razones:

- a) Un gran espaciado promedia en cada medida el efecto de un gran volumen de subsuelo. Si los objetivos a resolver son de pequeñas dimensiones, su efecto sobre los valores de resistividad aparente puede resultar tan pequeño que no resulten detectables, con independencia de la profundidad a que se encuentren (sensibilidad y resolución lateral).
- b) A mayor intervalo electródico mayor será la incertidumbre sobre la posición del objeto que causa la anomalía. Por ejemplo puede existir una incertidumbre entre 100 y 200-300 m sobre la posición de un objeto de 10-20 m (Sensibilidad lateral y resolución de estructuras buzantes).
- c) Cuando el espaciado es apreciablemente mayor que la anchura del objeto existe una ambigüedad general respecto a la geometría del mismo.

Se deduce pues que es recomendable combinar campañas de reconocimiento y detalle para evitar que se «cuelen» anomalías o que su localización quede mal definida.

Para el caso concreto de la campaña que describimos se decidió a priori trabajar con tres dispositivos a nivel de detalle, en consonancia con el conocimiento de la zona de estudio, con un tamaño de dipolo $a = 12'5$ m. Las configuraciones seleccionadas fueron: calicatas trielectrónicas combinadas polo-dipolo directas na-a (electrodos de recepción en cabeza) e inversas a-na (electrodo de transmisión en cabeza) con tres niveles de medición ($n=1, 2$ y 4), calicatas polo-polo a, y calicatas dipolo-dipolo a-na-a con $n=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11$ y 12 .

Las calicatas trielectrónicas combinadas y dipolo-dipolo son de uso frecuente. En el caso de estas últimas con el elevado número de niveles n se pretendía tanto aumentar la penetración del dispositivo, como registrar eventuales estructuras horizontalmente estratificadas. Las calicatas polo-polo son algo más inusuales, pero dado el tamaño a del dispositivo (distancia polo-polo) la eficiencia en campo es elevada. Se trata de una configuración recomendada por la escuela india por su profundidad de exploración, capacidad de detección de estructuras buzantes y simplicidad de forma de las anomalías registradas.

3.2. SONDEOS ELECTROMAGNETICOS DE DOMINIO DE TIEMPOS (SEDT).-

Como cualquier otra variante de sondeos eléctricos, los SEDT se utilizan para la detección de contactos horizontales o subhorizontales entre las capas del subsuelo, siempre que entre éstas exista contraste suficiente en sus valores de resistividad.

De modo general los SEDT muestran una mayor capacidad resolutive que los SEV cuando se trata de detectar elementos relativamente conductores. Por contra sus posibilidades de empleo se reducen drásticamente cuando la resistividad del medio rocoso es elevada. Desde el punto de vista logístico una ventaja considerable de los SEDT respecto a los SEV es su mayor facilidad de ejecución.

La toma de datos consiste en medir, en un intervalo de décimas de milisegundo a algunos milisegundos, el campo magnético transitorio asociado a las corrientes de difusión que se establecen en el subsuelo al cortar bruscamente un pulso de corriente, relativamente intenso, que se hace circular por un bucle metálico situado en la superficie del terreno.

Este campo magnético secundario se extingue de forma muy rápida y su medición se efectúa en una serie de ventanas de tiempo promediando un número de ciclos considerable.

Una característica de las corrientes de difusión es que migran lateralmente y hacia abajo desde el bucle transmisor. En consecuencia las medidas realizadas a tiempos crecientes son representativas de los materiales del subsuelo situados a profundidad creciente. Este hecho constituye el fundamento de los SEDT.

Para la ejecución de las medidas se utiliza un sensor especial, una bobina con un elevado número de espiras, que se localiza en la superficie del terreno, bien sea en el centro del bucle transmisor (central loop) o bien fuera del mismo (offset).

La profundidad de investigación depende directamente del momento magnético aplicado al bucle transmisor. Este es función del tamaño del bucle y de la intensidad de los pulsos de corriente. No obstante al aumentar el tamaño del bucle aumenta el tiempo de corte de los pulsos de corriente y con ello se pierde resolución en los niveles más superficiales de la sección. Así pues ha de llegarse, respecto al tamaño del bucle, a una situación de compromiso en la que también juegan un papel sustancial las condiciones logísticas de la zona de trabajo.

Los valores de f.e.m medidos se transforman en valores de resistividad aparente mediante la expresión.

$$\rho_s = \left[\frac{\mu}{4\pi t} \right] \times \left[0.4 \mu \text{ Tx M} / t \times \text{dBz/dt} \right] \%$$

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

TxM = momento magnético del transmisor.

Se obtienen así una serie de valores de ρ_s en función del tiempo t con los que se construye para cada punto de medida una curva de resistividad aparente similar a la de los SEV convencionales.

La interpretación cuantitativa de estas curvas permite definir la distribución de capas del subsuelo; caracterizándolas por su espesor y resistividad; en el rango de profundidad involucrado en las medidas.

Los equipos de medida llevan normalmente incorporados filtros para las corrientes industriales. Sin embargo, la influencia de líneas eléctricas, edificaciones y elementos metálicos en las proximidades de las zonas de trabajo distorsionan a veces las lecturas hasta hacerlas ininterpretables.

TRABAJOS REALIZADOS

4. TRABAJOS REALIZADOS.-

4.1. DURACION Y EQUIPO DE TRABAJO.-

4.1.1. Por Administración (Silán).- Los trabajos de campo, (estaquillado, mediciones, etc) se iniciaron el 23 de Junio de 1.992, prolongándose hasta el 28 de Agosto del mismo año. El equipo de trabajo estuvo compuesto por el siguiente personal del Servicio de Geofísica del ITGE:

- Jose Luis GARCIA LOBON.- Ingeniero de Minas.
Dirección de los trabajos e informe.
- Jose M^a LLORENTE DELGADO.- Operador geofísico.
- Agustín GONZALEZ DURAN.- Operador geofísico.
- Juan Pablo CARRION REBOLLEDO.- Operador geofísico.

Se contrataron cinco peones para las tareas de campo (transporte de instrumentos, tendido de cables, estaquillado, etc).

La base del equipo se ubicó en Villalba (Lugo). Para el tratamiento de datos y la interpretación se contó con la colaboración del becario D. Carlos P. BENITO DE LA CRUZ.

4.1.2. Por contrata (La Quinta).- Las tareas de campo se realizaron entre el 10 y 15 de Septiembre de 1.992. En la ejecución del estudio ha participado el siguiente personal de plantilla de IGT.:

- Angel GRANDA.- Ingeniero de Minas. Interpretación de datos y redacción del Informe.
- Jose Carlos CAMBERO .- Ingeniero de Minas. Presentación de resultados.
- Francisco SOCUELLAMOS.- Operador geofísico. Toma de datos.

Se contrataron además dos peones que colaboraron en los trabajos auxiliares de campo.

La toma de datos resultó especialmente difícil por el efecto combinado de los siguientes factores:

- Oposición, a veces violenta, de los vecinos de la zona a la ejecución de cualquier tipo de medida. Aparentemente existe un conflicto entre los vecinos y la actual explotación.
- Presencia de líneas eléctricas atravesando zonas donde hubiera interesado realizar medidas.
- Dificultades de tendido de los bucles transmisores por la presencia de numerosas edificaciones y zonas con vegetación cerrada.

Así pues del total previsto (36 SEDT) únicamente se realizaron 14 en tres días de trabajo real y uno perdido por lluvia.

Además el operador observó la rápida extinción de la señal útil y por ello propuso también la reducción del número de puntos de medida.

4.2. INSTRUMENTACION.-

4.2.1. Equipo de resistividades.-

- * Transmisor ELECTRA 1000 de pulsos simétricos de corriente (+1,-1) y duración de inyección regulable de 1 a 10 s, con 6 dipolos de emisión; características máximas: potencia 1 Kw, tensión 1.2 Kv, corriente 4 A.

- * Motor generador HONDA modelo EM 1900 X con las siguientes características nominales de salida en CA: tensión 220 V, frecuencia 50 Hz, amperaje 7.8 A y potencia aparente 1.7 KVA.

- * Receptor digital ELREC 6. Se trata de un equipo multicanal y multiventana que permite la recepción simultánea de 6 dipolos, lo que proporciona una eficiencia en campo muy elevada. El proceso de medición, controlado por microprocesador, es totalmente automático. La memoria interna puede almacenar hasta 1700 medidas. Una comunicación en serie permite la transferencia de estas medidas a un PC para su posterior almacenamiento, edición e interpretación.

- * Transmisor/receptor SYSCAL R2E.

- * Elementos auxiliares: electrodos y cables.

4.2.2. Magnetometría.-

- * Magnetómetro de protones GEOMETRICS G-816.

4.2.3. Electromagnético de Dominio de Tiempos.-

Se utilizó el sistema PROTEM fabricado por GEONICS y constituido por los siguientes elementos:

- Transmisor EM-47 con capacidad para operar a frecuencias base de 250 Hz, 62'5 Hz y 25 Hz. Está alimentado por baterías y es el adecuado para estudios de hasta 100 m de profundidad, operando con bucles de 5x 5 m hasta 100 x 100 m. Tiempo de corte de 2'5 μ seg con un bucle de 40x40 m.
- Receptor PROTEM.-

Medida de 20 canales cubriendo el rango entre 6 μ s y 80 ms.
Sincronización mediante cable de referencia.
Tiempo de integración entre 45 y 170 s.
Almacenamiento de datos en memoria sólida y transferencia mediante un puerto RS 232.
Sensor: bobina de alta frecuencia con un área efectiva de 31 m² equipada con preamplificador.

4.3. PERFILES MEDIDOS.-

4.3.1. Zona de Silán.- (Plano nº 1).

Los perfiles son de dirección aproximada EW (perpendicular a la de los diques de pegmatita), separados 50 m y con estacas cada 12'5 m (dipolos de 12'5 m). El resumen cuantitativo del trabajo es el siguiente:

1.- Calicatas trielectrónicas combinadas: perfiles P1 (estaciones 5-6 a 33-34, o sea 362'5 m), P2 (5-6 a 32-33, 350 m), P3 (362'5 m), P4 (362'5 m), P5 (362'5 m) y P6 (estaciones 5-6 a 31-32; 337'5 m). Total: 2.112'5 m.

2.- Calicatas polo-polo: perfiles P1, P2, P3, P4, P5 y P6, estaciones 1-2 a 34-35, es decir 425 m. Total: 2.600 m.

3.- Calicatas dipolo-dipolo. Perfiles P1, P2, P3, P4 y P5 (estaciones 1-2 a 32-33, 400 m); perfil P6, estaciones 4-5 a 32-33, 362'5 m. Total: 2.362'5 m.

4.- Magnético: perfiles P1, P2, P3, P4, P5 y P6 estaciones 1 a 38, perfil P7 estaciones 1 a 37. Total: 265 puntos.

NOTAS:

1.- Los perfiles 2,4 y 6 se midieron también con calicatas dipolo-dipolo de 25 m de espaciado. Total: 1.125 m.

2.- Producción total: 8.200 m. Días trabajados: 30. Rendimiento: 273 m/día.

3.- Número de días perdidos por lluvia y averías: 12.

4.3.2. Zona de La Quinta.- (Plano nº 2).

En el Plano nº 2 se indica la posición prevista de los puntos de medida a lo largo de una serie de perfiles que se habían considerado adecuados a los objetivos de la zona.

Por las dificultades de ejecución señaladas en el apartado 4.1.2. únicamente se midieron los 14 puntos que se reseñan en el plano citado. Estas medidas se efectuaron a lo largo de tres días de trabajo real.

4.4. METROLOGIA.-

Topografía.-

Los perfiles se estaquillaron con brújula y cuerda.

En Silán se partió de la referencia sobre terreno del sondeo nº 49. Se han adjudicado coordenadas UTM a las estaciones a partir de la nº 1 del perfil P1 a la que se asignó X= 612.700, Y= 4.818.100.

En La Quinta, el posicionamiento de los puntos de medida se efectuó mediante el plano topográfico a escala 1/2000 cuya precisión es suficiente para este tipo de medidas.

Magnético.-

Todos los perfiles se midieron en un mismo día, repitiéndose la lectura sobre varias estaciones a lo largo de la jornada de trabajo a efecto de controlar y corregir los errores por variación diurna y deriva.

Resistividad.-

Ya se han mencionado al final de 3.1. los dispositivos y espaciados utilizados.

Electromagnético Dominio de Tiempos.-

Los parámetros que definen la toma de datos son los siguientes:

- . Dispositivo offset con la bobina receptora a 10 m del lado y por fuera del bucle.
- . Bucle transmisor de 40x40 m.
- . Tiempo de corte de los pulsos 2'4 μ s.
- . Intensidad de los pulsos de corriente 2'7 A.
- . Frecuencias. Se realizaron tres series de medidas en cada punto, correspondientes a frecuencias de 250 Hz (Ultra high), 62'5 Hz (Very high) y 25 Hz (High).
- . Tiempo de integración 45 seg.

TRATAMIENTO DE DATOS

5. TRATAMIENTO DE DATOS.-

5.1. CALICATAS ELECTRICAS.-

El tratamiento es diferente según el tipo de calicata. Las calicatas trielectrónicas y polo-polo se almacenaron en ficheros con registros de dos variables (nº estación y resistividad) que se representan en perfiles según el nivel de medición (n=1, 2,4. Figuras nº 3 a 10).

Ficheros generados:

a) Calicatas trielectrónicas: ficheros P*-.DAT con * de 1 a 6 según el perfil y de 1 a 3 según el nivel.

b) Perfiles polo-polo: ficheros PP*.DAT (*=1 a 6).

Las líneas dipolo-dipolo almacenadas en la memoria del receptor ELREC 6 se vuelcan sobre PC. Esta transferencia se realiza perfil por perfil, obteniéndose una serie de ficheros dato que denominamos según el perfil correspondiente: 1.DMP, 2.DMP, etc. A continuación, los perfiles se procesaron de dos formas:

1) Con el programa DIPIX (INTERPEX) de representación de pseudosecciones. Ficheros *.DPX (*=1 a 6). Planos 5 y 6;

2) Con el paquete IPREDC (GEOSOFT). Para cada perfil la entrada es el fichero *.DMP correspondiente (*= 1 a 6), que el paquete convierte en un nuevo fichero dato más compacto *.DAT, a partir del cual el programa calcula los ficheros *.RES de resistividades aparentes promediadas que se transportan al Plano nº 8. Ficheros *.DMP, *.DAT, *.RES (*= 1 a 6).

5.2. MAGNETICO.-

Los valores de campo se almacenaron en un fichero dato que denominamos MAG.PRN (X, Y, magnetometría, perfil, estación) que se procesó con el software 2D Mapping System de GEOSOFT para obtener el Plano nº 1.

5.3. GEOLOGIA.-

Ficheros SILANGE.DAT y QUINTAGE.DAT. El primero, junto con las coordenadas de MAG.PRN sirve de base a los Planos 1 y 8.

En resumen los ficheros generados, de los que se dispone de copia en backup, han sido:

- 1.- Ficheros de resistividad: P*-. DAT, PP*.DAT, *.DMP, *. DAT, *.RES, *.DPX (*=1 a 6, ? =1 a 3). Los ficheros 25#.DMP y 25#.DPX (#=2,4,6), corresponden a las líneas dipolo-dipolo a 25 m (Plano 7).
- 2.- Ficheros geología: SILANGE.DAT, QUINTAGE.DAT.
- 3.- Fichero magnético: MAG.PRN.

También citamos los ficheros de modelización, tema que se tratará a continuación, siguientes: SILAN?.I2X y SILAN?L.I2X (?=d, f, r y p). A partir de estos últimos ficheros se confeccionaron los Planos 3 y 4.

5.4. ELECTROMAGNETICO DE DOMINIO DE TIEMPOS.-

Los datos almacenados en la memoria del receptor PROTEM, incluyen la información siguiente:

- Identificación del punto de medida.
- Parámetros de la toma de datos (frecuencia, intensidad, ganancia, tamaño del bucle, tiempo de corte, área de la bobina, tipo de transmisor, etc).
- Valores medidos (f.e.m.) para cada serie de lecturas. Son veinte valores correspondientes a otras tantas ventanas de tiempo cuya posición depende de la frecuencia de la corriente.

Esta información se transfiere mediante el programa PROTEM (GEONICS) a un PC y da origen a un fichero *.RED con el formato adecuado para el posterior procesamiento de los SEDT utilizando el programa TEMIXGL (INTERPEX). El fichero con las curvas de resistividad aparente y su interpretación es del tipo *.TMX y únicamente puede manejarse mediante el citado programa TEMIXGL.

INTERPRETACION 1. SILAN

6. INTERPRETACION 1. SILAN.-

6.1. MODELIZACION.-

Se utilizó el programa RESIXIP2D de INTERPEX que permite modelizar la respuesta de los dispositivos empleados en campo (además de Wenner y gradiente) con un máximo de 50 posiciones electrónicas de transmisión/recepción, sobre estructuras de varios tipos:

- 1) cerradas definidas por vértices, como por ejemplo diques.
- 2) estratificadas.
- 3) combinaciones de ambas.

El programa resuelve el problema directo 2D de resistividades y polarización inducida usando un esquema de elementos finitos desarrollado por L. Rijo (1.977).

En la definición de los parámetros de los modelos (geometría y contraste de resistividades) hay que tener presente la información geológica de partida y los datos geofísicos obtenidos sobre el terreno. En general se recomienda trabajar con modelos realistas y sencillos.

MODELO 1 (PLANO Nº 3).-

En nuestro caso el modelo geoelectrico más simple representativo de la zona de estudio, es el constituido por dos diques anchos (anchura 2'5 veces el paso interelectródico $a = 12'5$ m), de buzamiento medio (45°) y contraste de resistividades importante (6 a 1). La respuesta de tal estructura a los dispositivos usados se observa en el Plano nº 3. De abajo a arriba aparecen:

- 1) El modelo formado por dos dique situados respectivamente entre las estacas 12'5 a 15 y 24 a 26'5, buzando 45° al E. La resistividad de los diques es de 12.000 ohm.m y la del encajante (metasedimentos) 2.000 ohm.m.
- 2) La respuesta de la calicata dipolo-dipolo.
- 3) La respuesta de la calicata polo-dipolo directa na-a.
- 4) La respuesta de la calicata polo-dipolo inversa a-na.
- 5) La respuesta de la calicata polo-polo.

En todos los casos el programa representa las anomalías para 8 niveles de medición ($n=1$ a 8). Se ha seleccionado el dibujo en perfil en los casos 3), 4) y 5) y en seudosección en el caso 2). Las marcas interiores del recuadro del modelo 1) indican la malla de elementos finitos utilizada, que en este caso es de 205 por 20 celdas. El tiempo de cálculo es de unos 21 minutos por dispositivo.

Lo primero a mencionar es que con todas las calicatas utilizadas se obtiene un buen contraste de anomalías de los diques respecto al fondo. El mejor contraste corresponde a los perfiles polo-dipolo (con un máximo entre 2.000 hasta casi 12.500 ohm.m), y el más débil a los dipolo-dipolo. Observese que para esta configuración sobre un dique resistivo ancho, en seudosección, la resistividad disminuye a medida que aumenta el nivel de medición n .

En cuanto a la localización de las anomalías, es muy precisa en todos los casos para $n=1$. A medida que n aumenta las calicatas trielectródicas combinadas ofrecen una respuesta más intensa pero más deslocalizada respecto a la situación de los diques, avanzando (directa) o retrocediendo (inversa) en relación a éstos. Con respecto a la calicata polo-polo, a medida que n aumenta se produce una situación confusa, pues tiende a aparecer un mínimo de resistividad sobre cada dique y un máximo entre ambos. Por último, la situación de los diques queda perfectamente reflejada en la seudosección dipolo-dipolo, con indicación de su buzamiento.

En la Figura 2 se observan los perfiles teóricos sobre el modelo de los dos diques para las configuraciones polo-dipolo directa e inversa con $n=1, 2$ y 4 , a efectos de compararlos con las mediciones reales del campo. Se han señalado algunas intersecciones características de la posición de los diques: con círculo abierto las que indican la presencia o proximidades del dique, con círculo cerrado las que marcan un contacto.

MODELO 2 (PLANO Nº 4).-

Si bien el modelo 1 ofrece los aspectos básicos en la interpretación de la campaña de calicatas, quizá sea necesario aumentar algo su complejidad para tener en cuenta la presencia de estratificaciones, observada en los datos de campo tanto en el caso de las calizatas trielectródicas combinadas como en las dipolo-dipolo.

El Plano nº 4 presenta sucesivamente modelo y perfiles eléctricos en la misma disposición que el Plano nº 3. El modelo 2 introduce algunas variaciones: una capa de 6.000 ohm.m y un tercer dique al W de los dos anteriores. Es necesario introducir ambos elementos para que la respuesta contenga una estratificación de resistividades previa al dique 1, como se observa en las seudosecciones de campo de los perfiles P2, P3 y P4.

Para el cálculo se empleó una malla de 295 por 27 elementos con lo que el tiempo del mismo se elevó a 59 minutos por configuración.

La respuesta del modelo 2 presenta características similares respecto la del modelo 1, como el buen contraste de anomalías (aunque lógicamente, algo amortiguado en el modelo 2) y la deslocalización creciente a partir de $n=2$. Los perfiles polo-polo resultan especialmente problemáticos en este caso. Como rasgo diferenciador, la estratificación se observa en todos los perfiles y queda bien reflejada en la seudosección dipolo-dipolo.

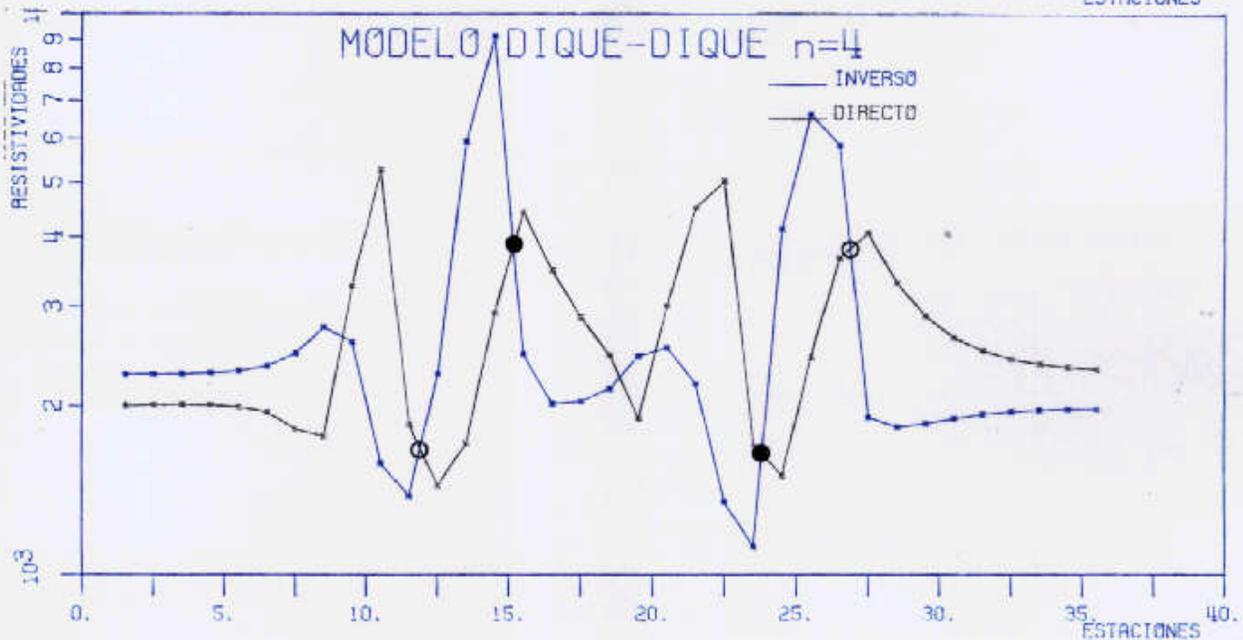
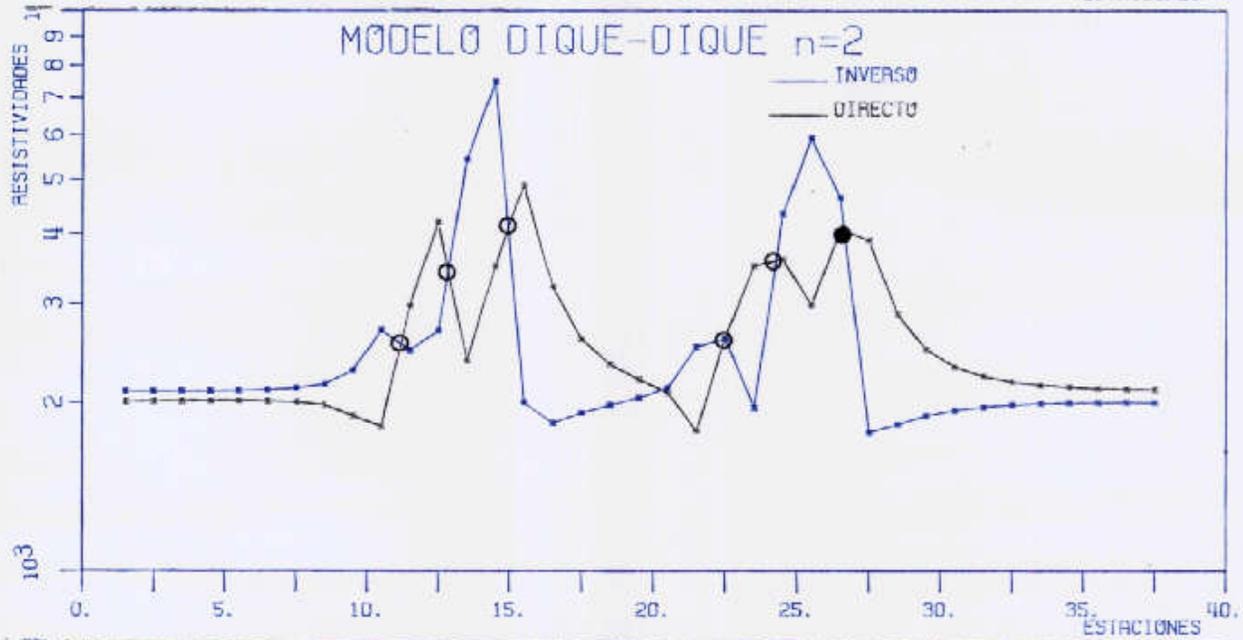
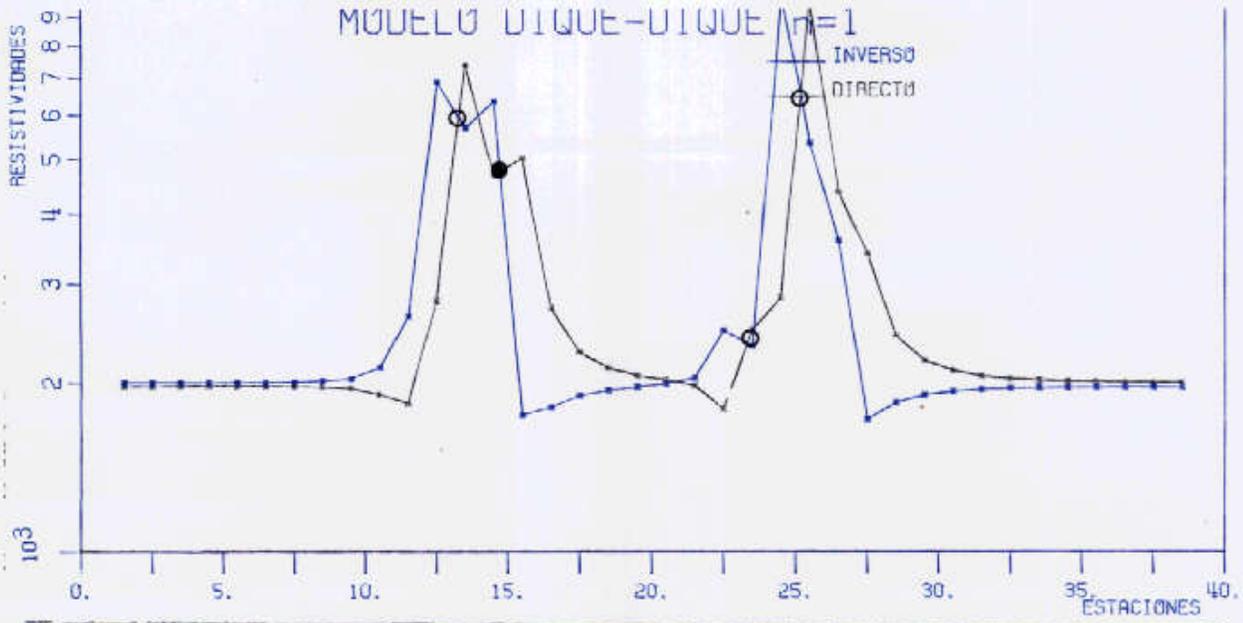


Figura nº 2. Calicata trielectrónica combinada sobre el modelo dique-dique para $n = 1, 2$ y 4

6.2. ENUMERACION Y DESCRIPCION DE ANOMALIAS.-

6.2.1. Resistividades.-

6.2.1.1. Perfiles polo-dipolo.- (Figuras 3 a 8 y Plano 9).

- Las resistividades son altas en general, estando la mayoría de los valores comprendidos entre los 2.000 y 10.000 ohm.m. En promedio, disminuyen significativamente en todos los perfiles con el aumento de n, salvo en el caso del Perfil 6.

- Definición de diques y puntos característicos (intersecciones): el criterio de localización ha sido señalar los puntos que se repetían consistentemente en los 3 niveles (ver figuras correspondientes).

- . Perfil 1.- contactos en las proximidades de las estaciones 15 y 28.
- . Perfil 2.- Contacto alrededor de la estación 12 y dique entre las estaciones 23 y 26.
- . Perfil 3.- Contactos próximos a las estaciones 12'5 y 24, respectivamente.
- . Perfil 4.- Contacto estación 12.
- . Perfil 5.- Contactos estaciones 16 y 30.
- . Perfil 6.- Dique entre aproximadamente las estaciones 8 y 16.

En resumen, se puede decir que aparecen dos estructuras resistivas que recuerdan la respuesta teórica de dos diques (que podemos llamar en adelante dique W y E, respectivamente), con puntos característicos marcados en los tres niveles de n, en los perfiles 2 (aquí muy bien definido el dique E), 3 (regular, sólo un contacto en cada dique) y 6 (bien definido el dique W). En los perfiles 4 y 6 se aprecia el primer dique (dique W) pero los extremos E de ambas líneas son bastantes confusos.

En general las calicatas han resultado de calidad media: el nivel n=1 se presenta ruidoso y el 4 impreciso.

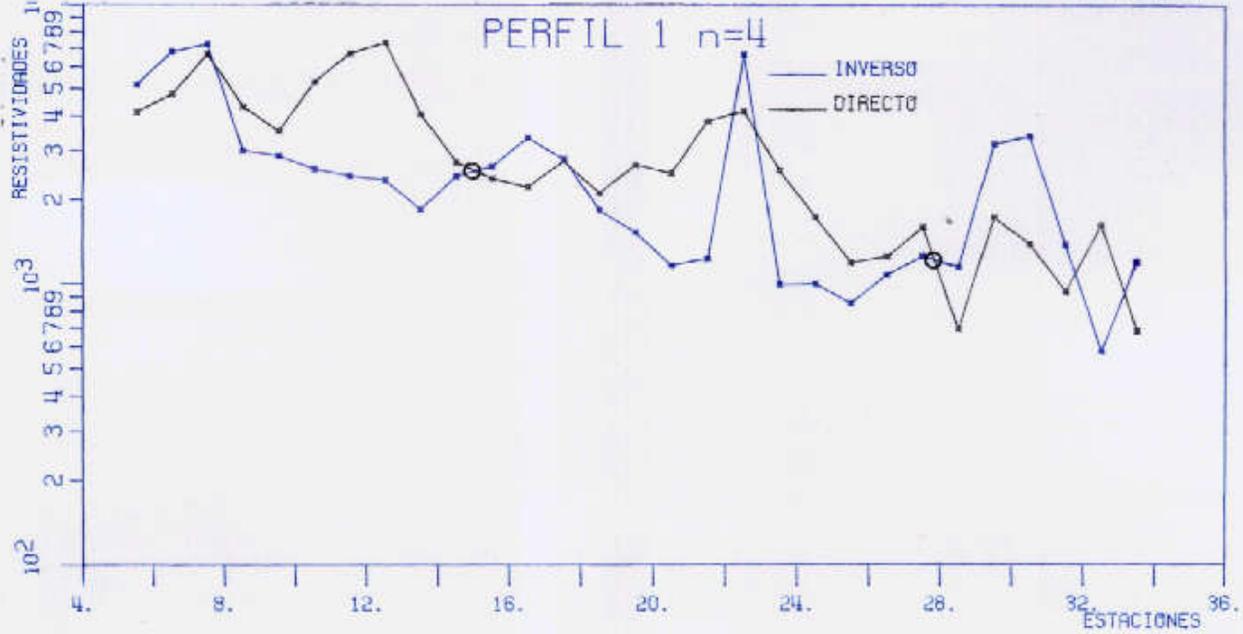
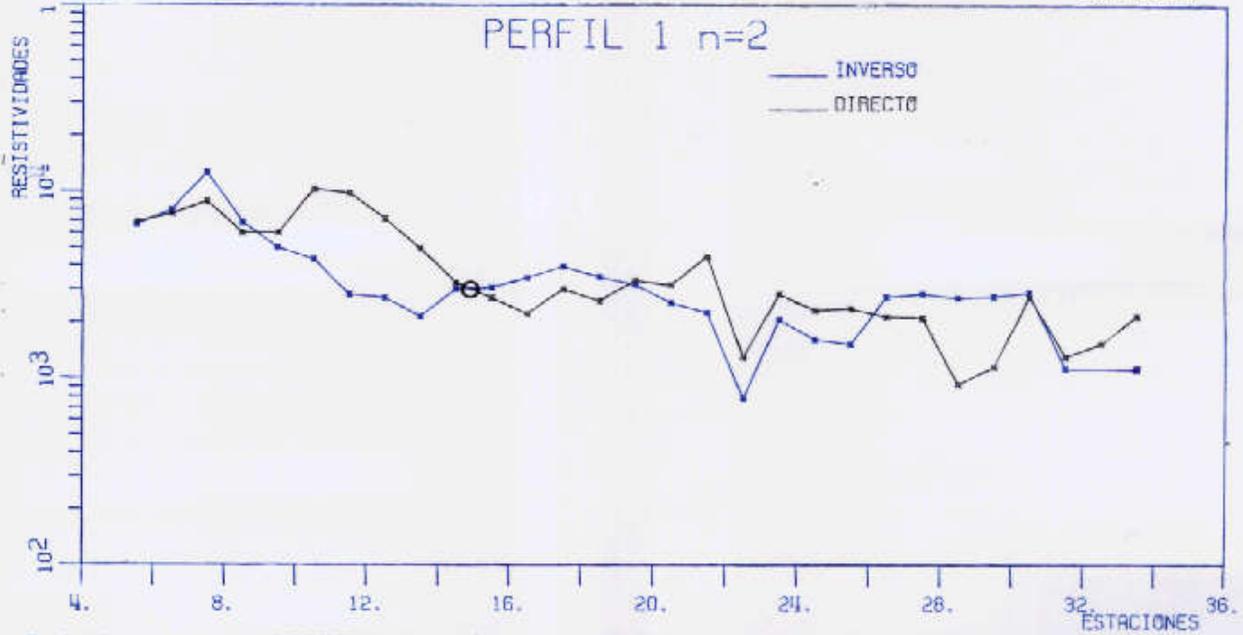
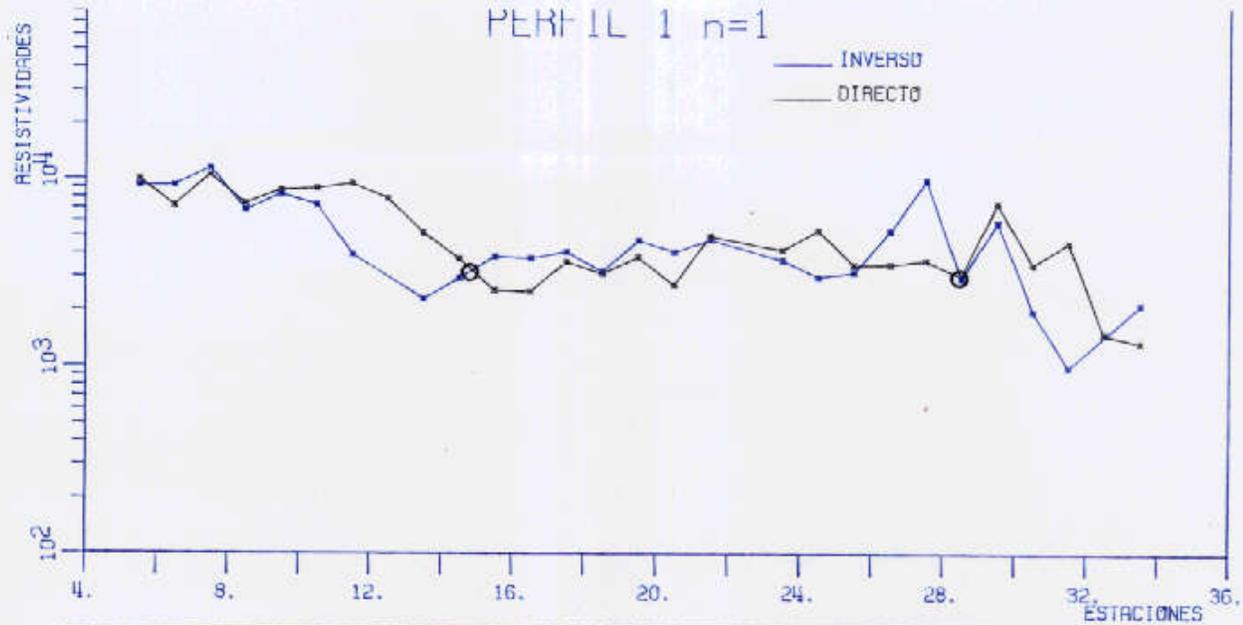


Figura nº 3. Calicata trielectrónica combinada, Perfil 1

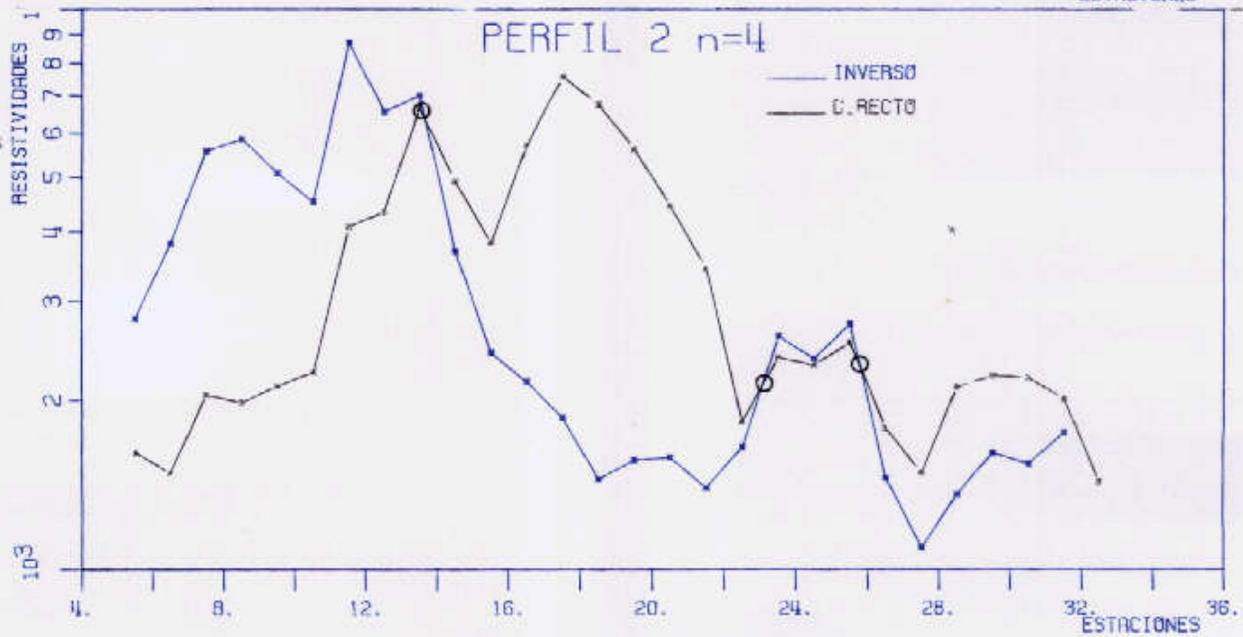
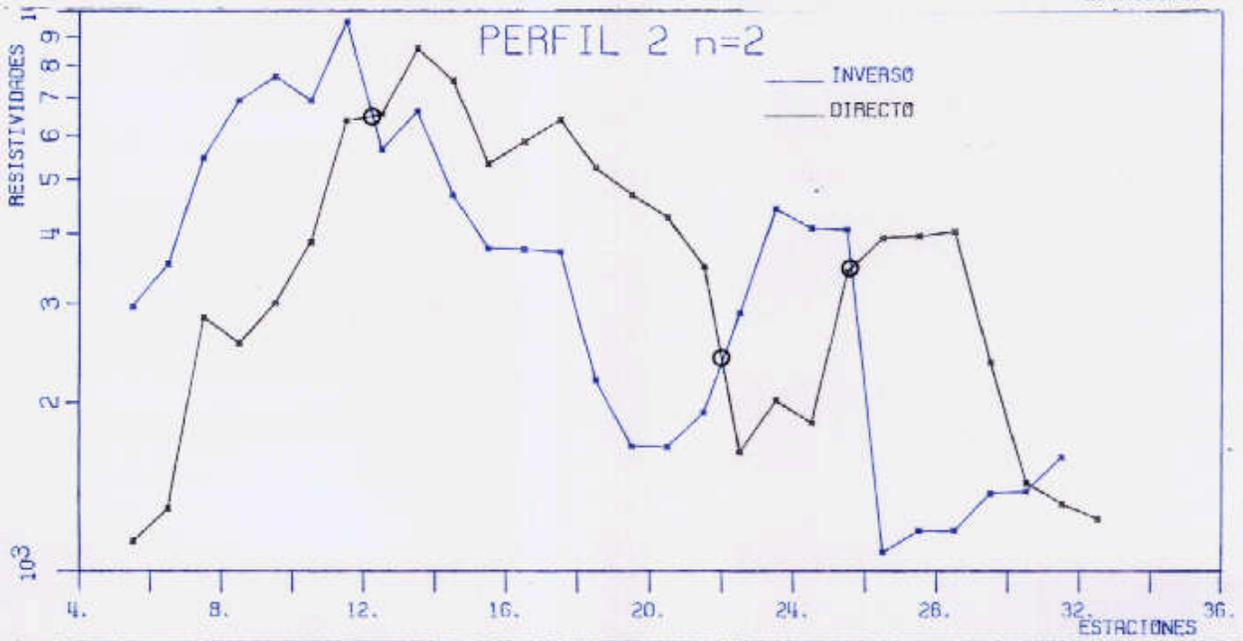
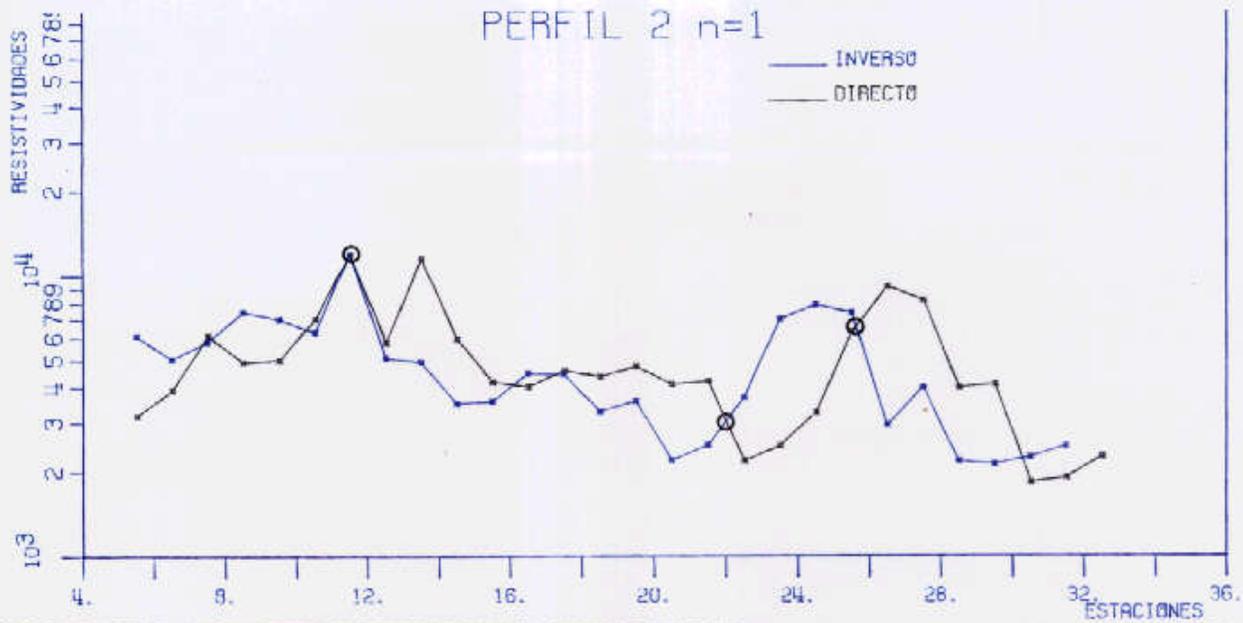


Figura nº 4. Calicata trielectrónica combinada. Perfil 2

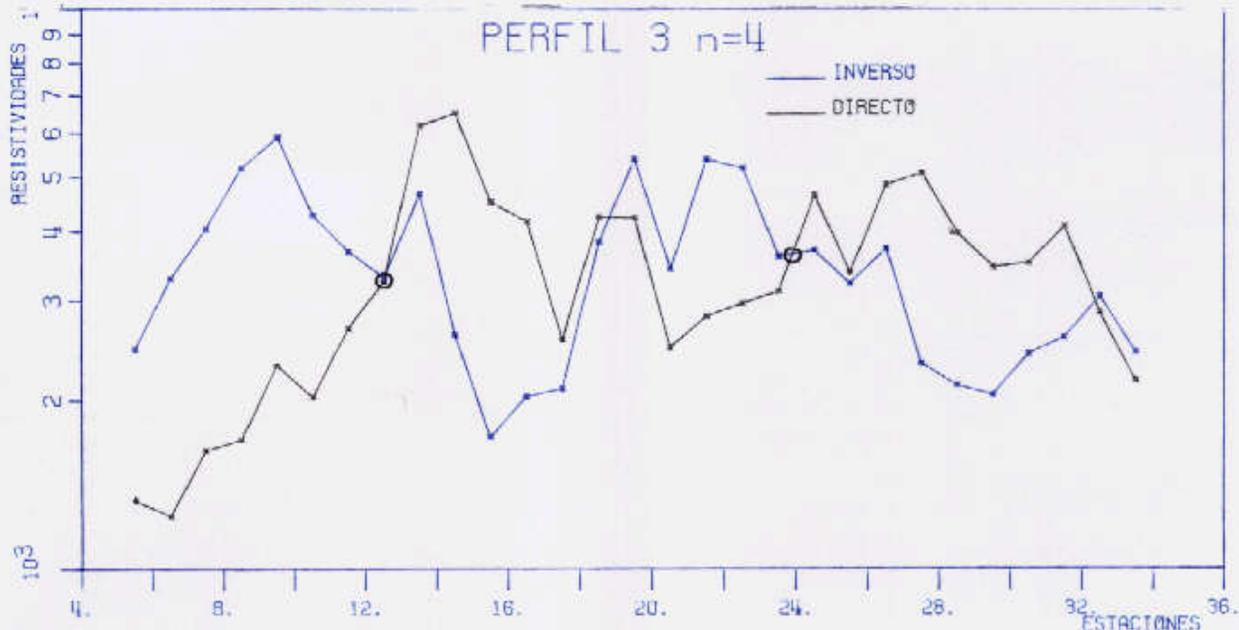
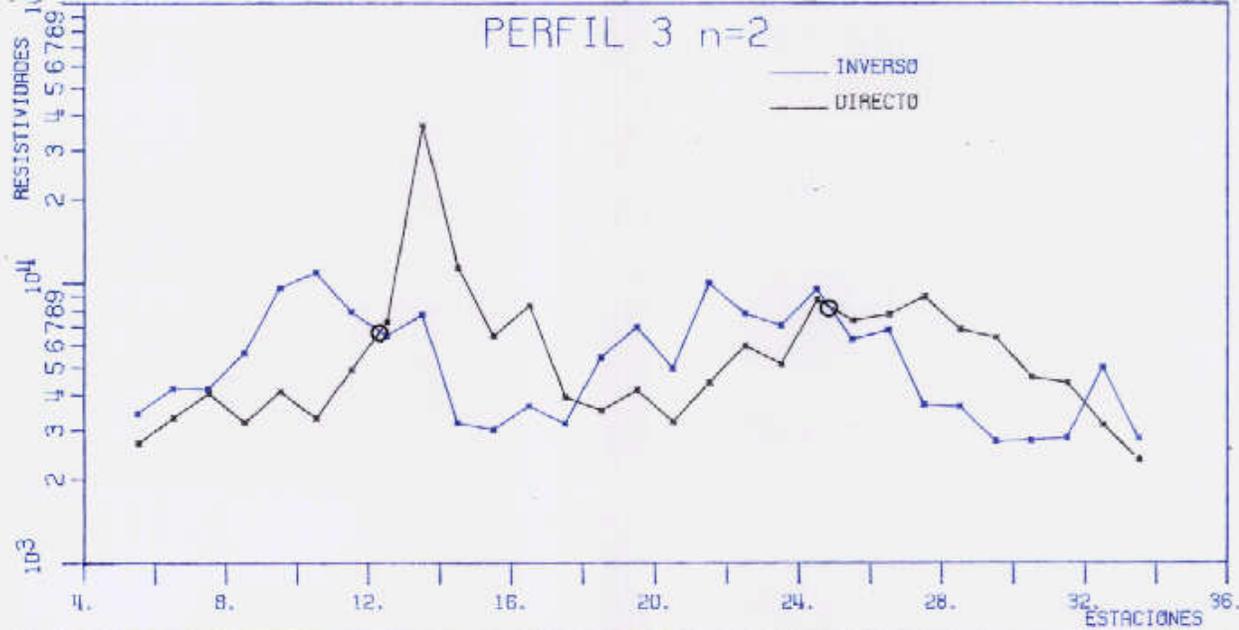
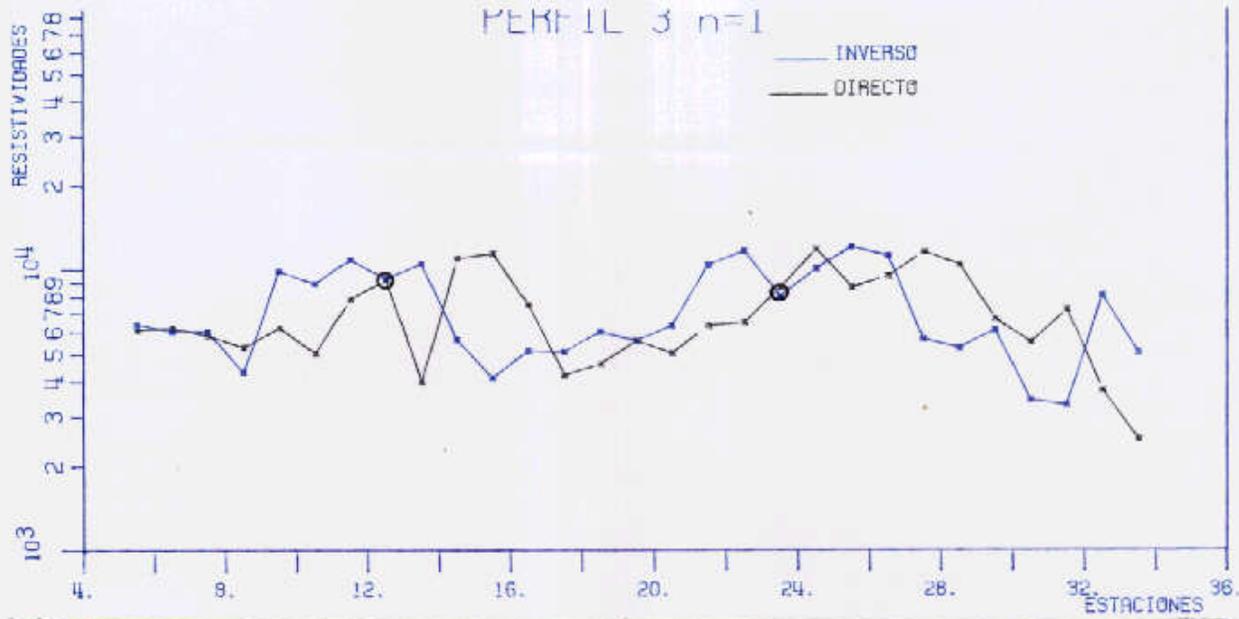


Figura n° 5. Calicata trielectrónica combinada. Perfil 3

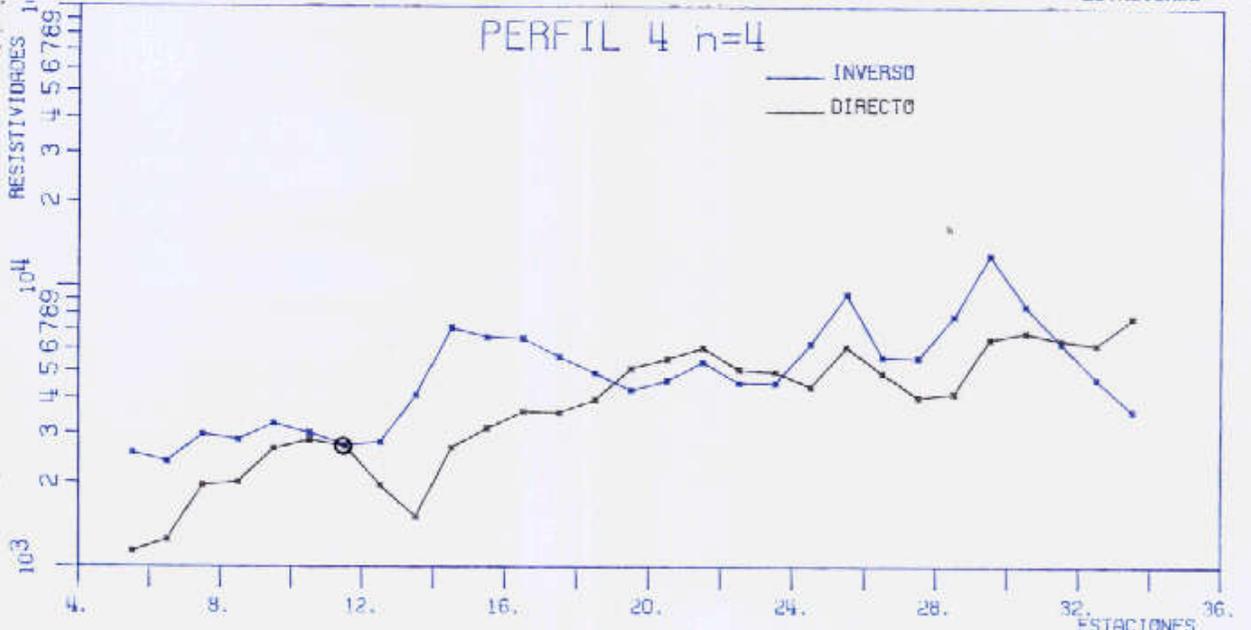
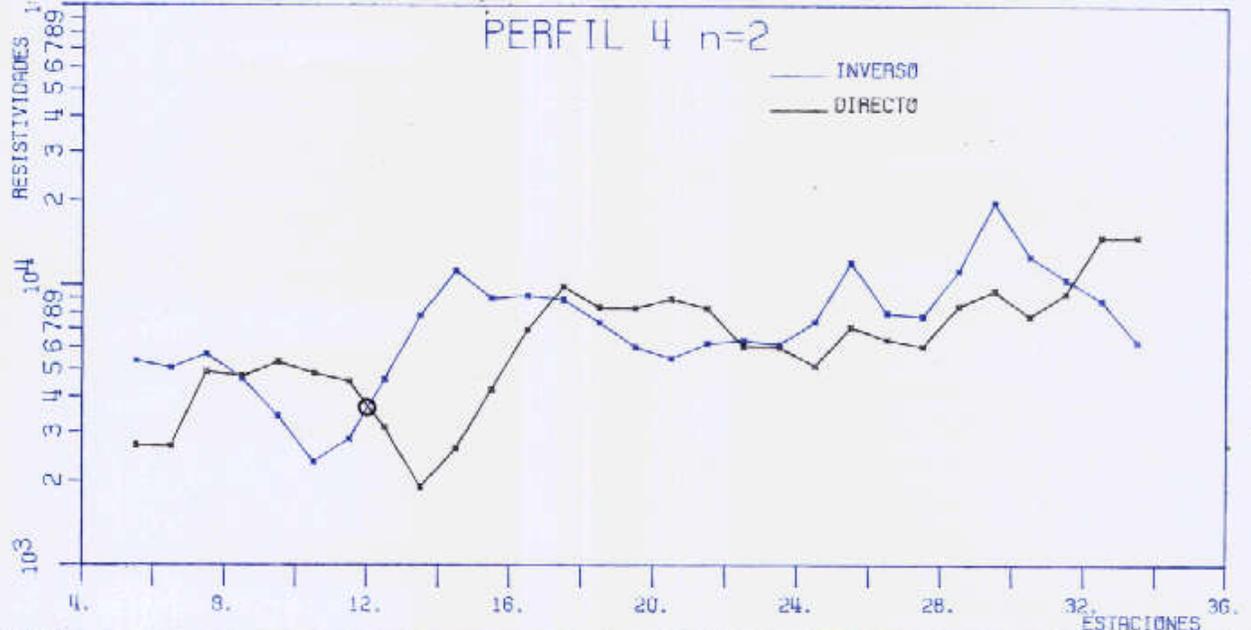
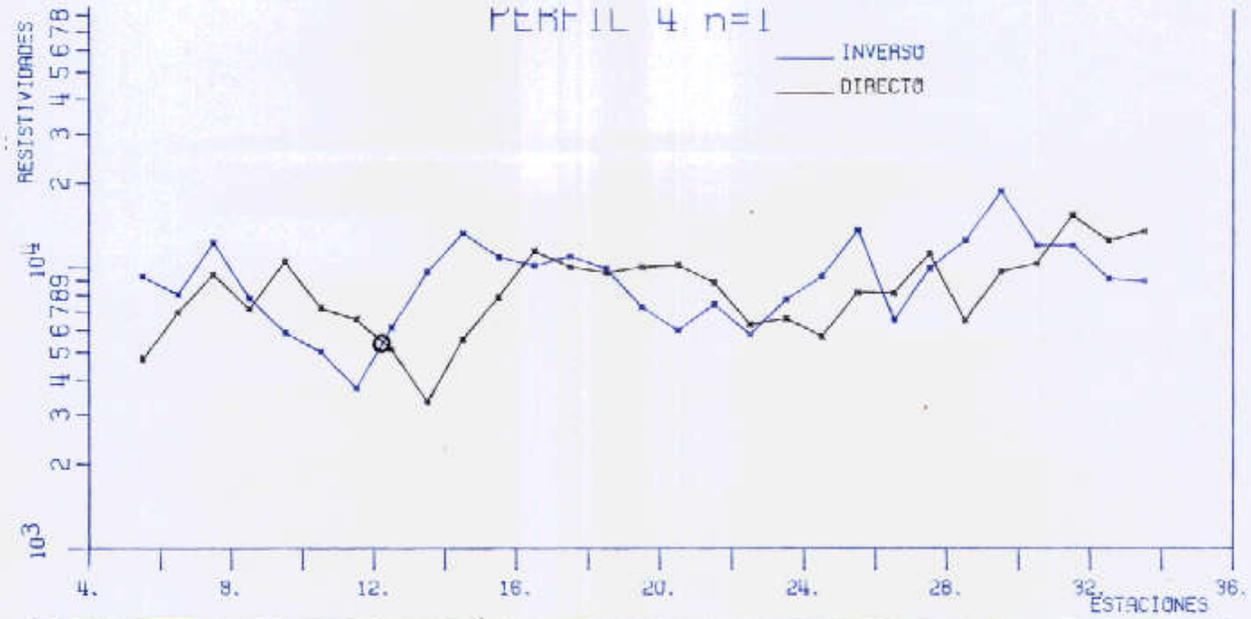


Figura n^o 6. Calicata trielectrónico combinada. Perfil 4

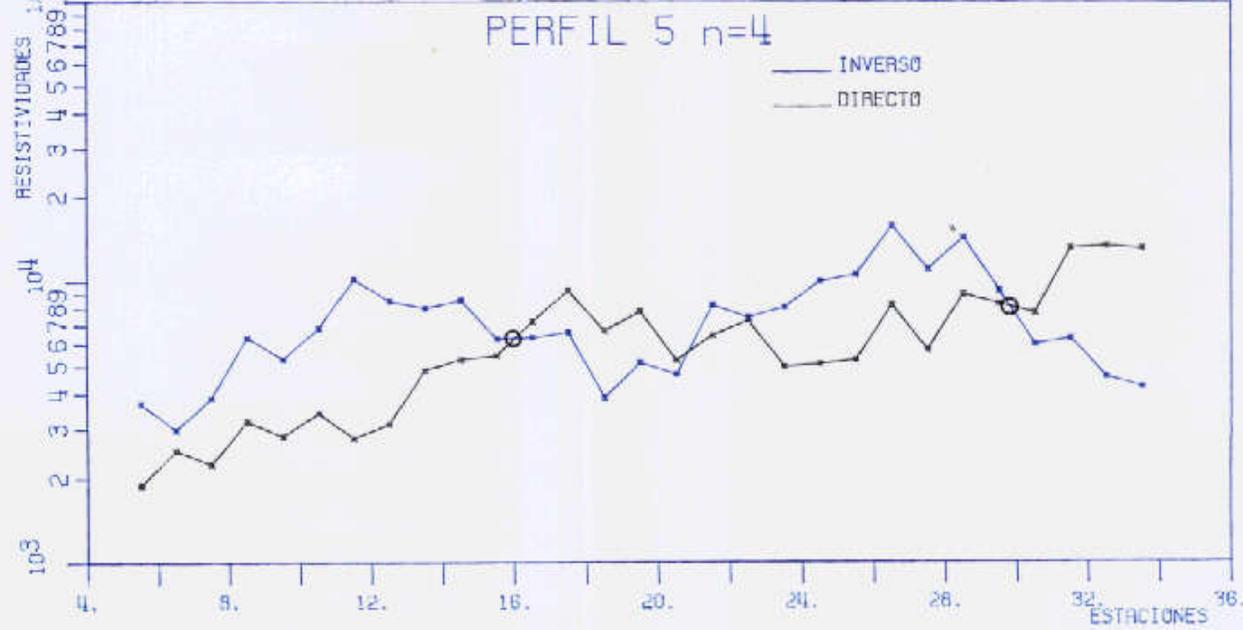
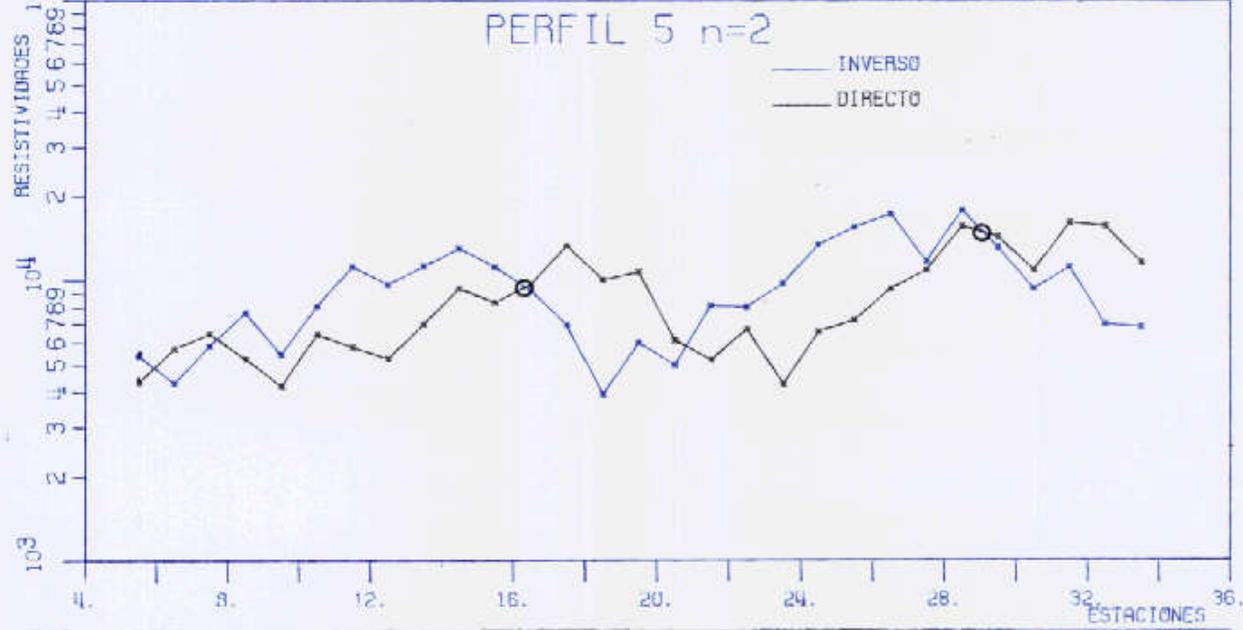
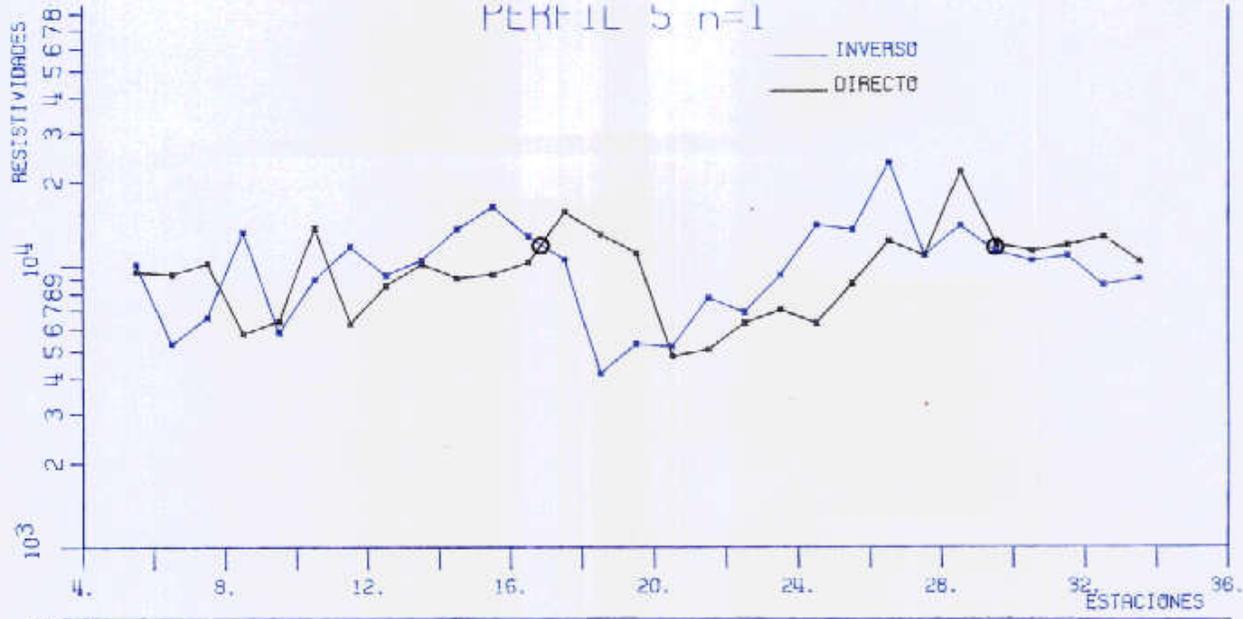


Figura 7. Calicata trieléctrica combinada Perfil 5

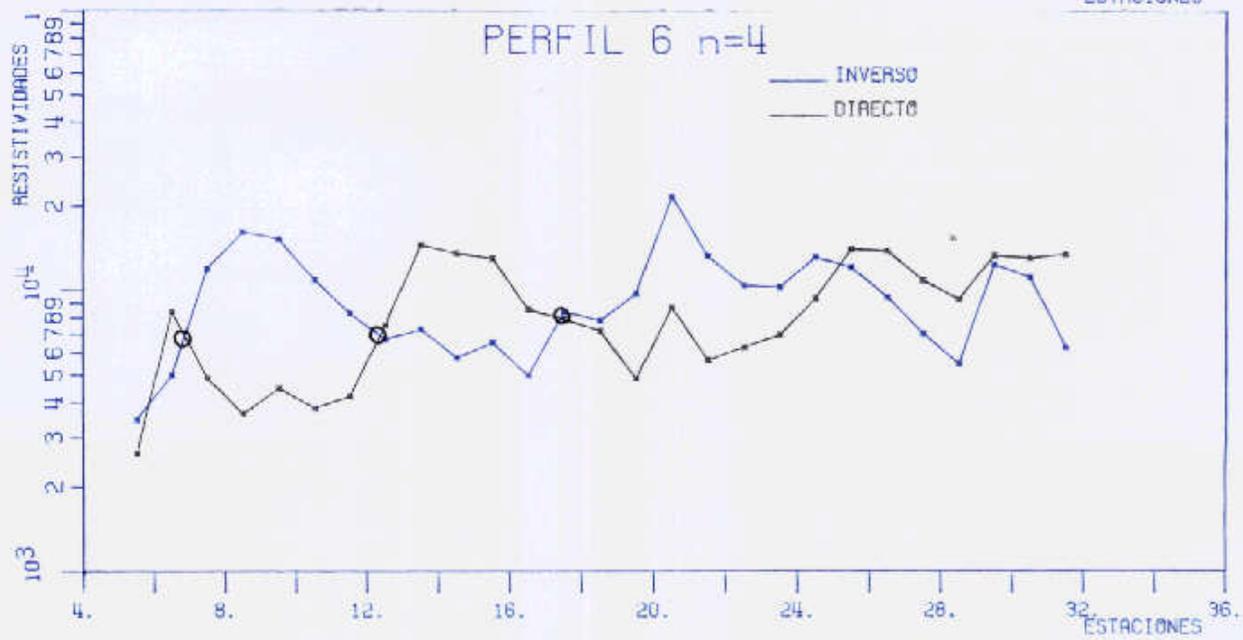
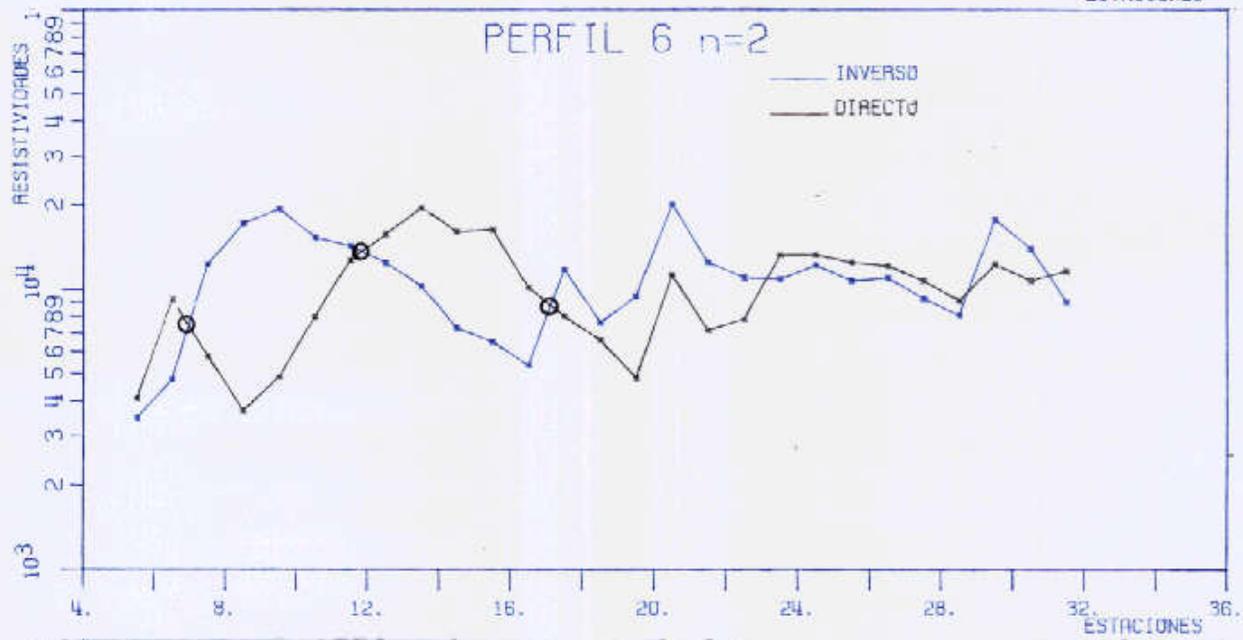
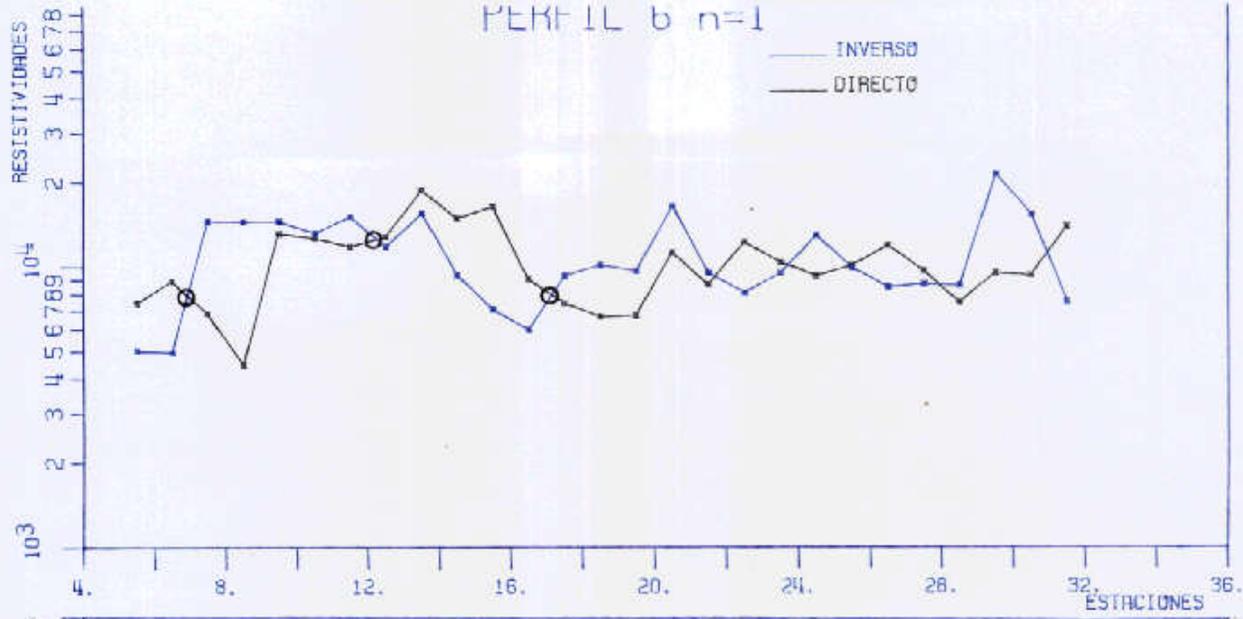


Figura 8. Calicata trieléctrica combinada. Perfil 6

6.2.1.2. Calicatas polo-polo.- (Figuras 9 y 10 y Plano 9).

- . Perfil 1.- Aparece un contacto aproximadamente en la estación 13, indicado por una fuerte disminución de resistividades, y un dique resistivo entre 28-31.
- . Perfiles 2 y 3.- Perfiles similares que manifiestan dos estructuras resistivas próximas a las estaciones 11-14 y 24-28; y 11-15 y 23-28 respectivamente.
- . Perfil 4.- Las estructuras resistivas, peor definidas, se sitúan aquí entre las estaciones 6-10, 16-20 y 27-31.
- . Perfil 5.- Perfil poco claro. Estructura imprecisa entre 10-17. También en 27-29, aunque definida por una sola medición.
- . Perfil 6.- Contacto en las proximidades de la estación 8. El resto del perfil es bastante uniforme.

En resumen, las calicatas polo-polo han resultado también de calidad media, quizá menos claras de lo esperado: son buenos perfiles el 2 y 3, malos el 1 y 6, y regulares el 4 y 5. En especial estos dos últimos permiten varias interpretaciones alternativas. Se ha seleccionado una consistente con los resultados de las calicatas dipolo-dipolo que pasamos a describir a continuación.

6.2.1.3. Calicatas dipolo-dipolo.- (Planos 5,6,7 y 9).

- PERFIL 1.- Se trata de un perfil confuso que presenta una línea de sutura entre los niveles 1 a 6 y 6 a 12, con fuerte disminución de las resistividades. Esto puede tener su origen en un problema del proceso de medida, ya que cada conjunto de niveles citados se mide por separado. Los primeros 6 presentan unas resistividades altas y homogéneas hasta aproximadamente la estación 22,

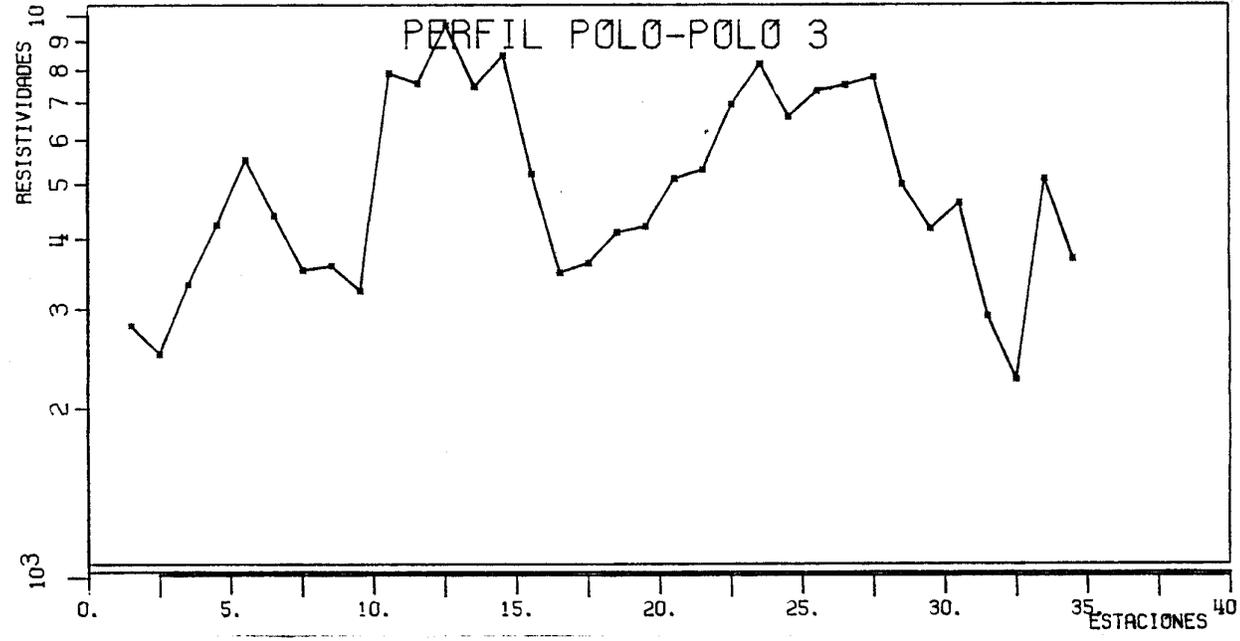
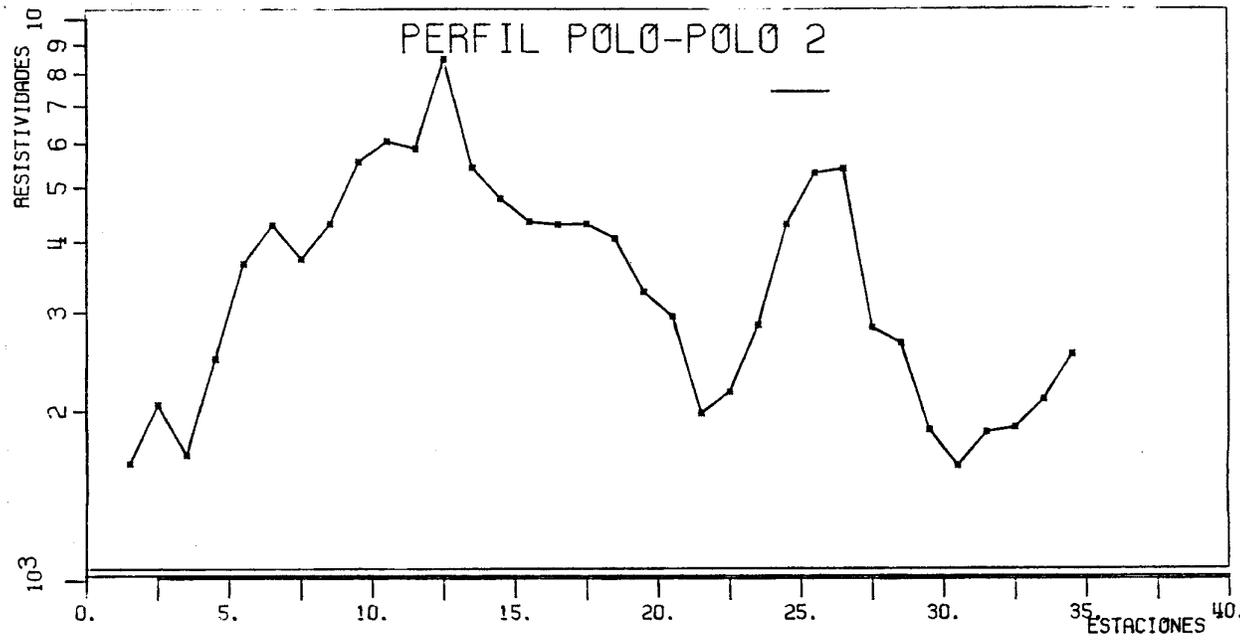
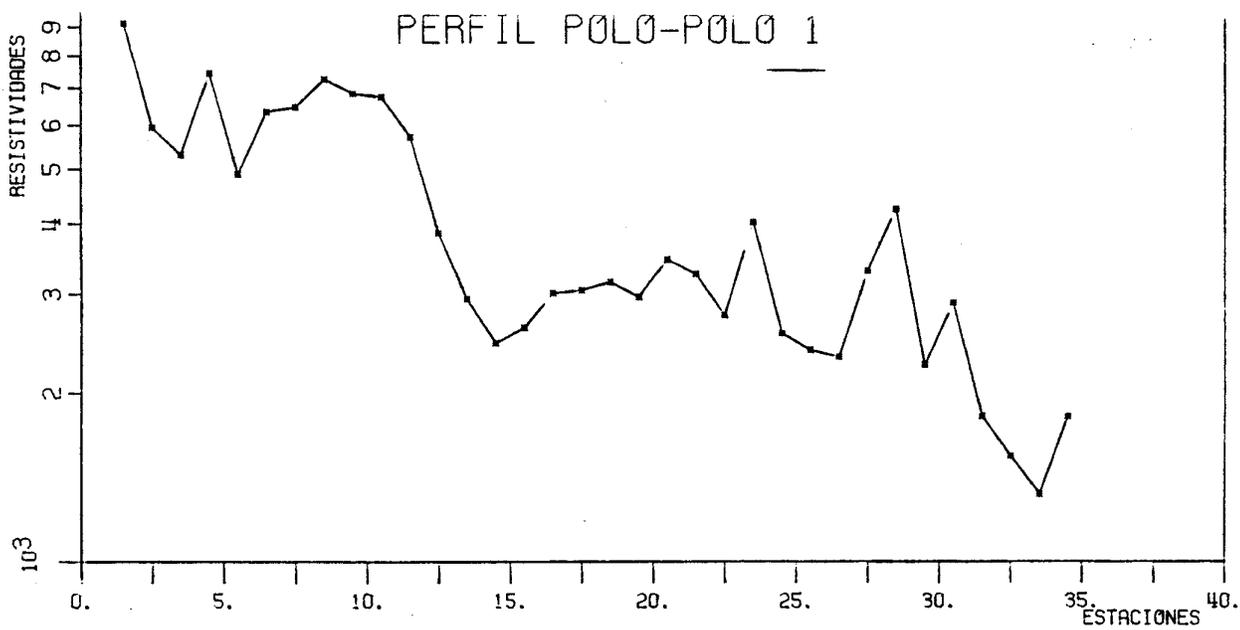


Figura nº 9. Perfiles polo-polo 1, 2 y 3

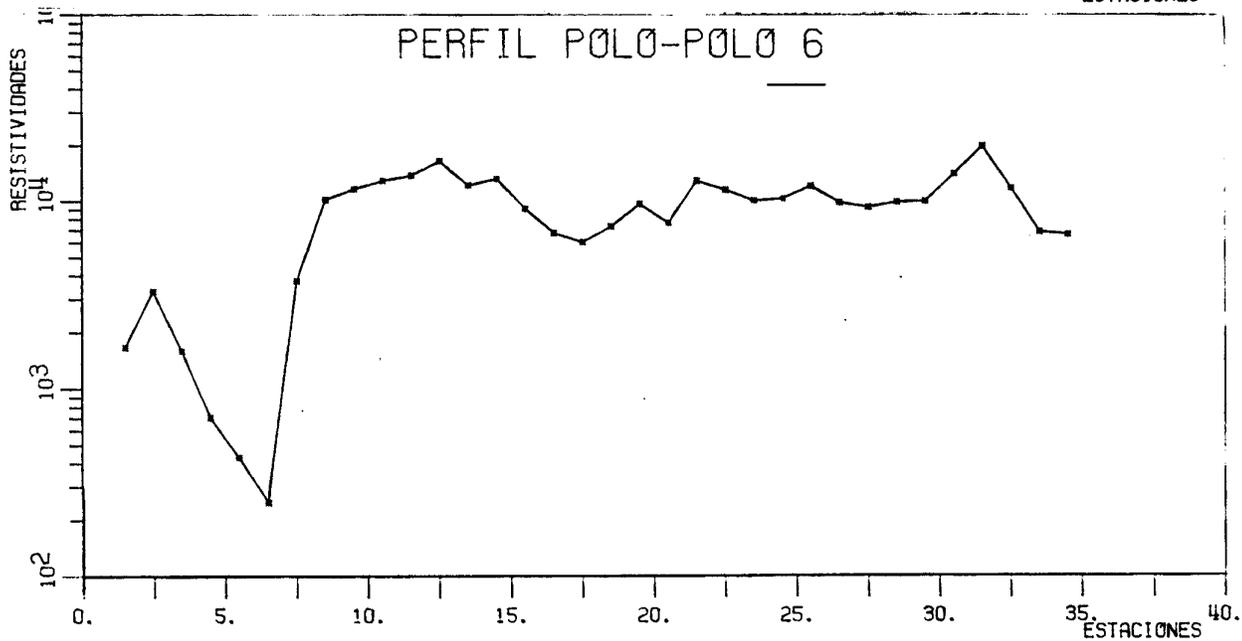
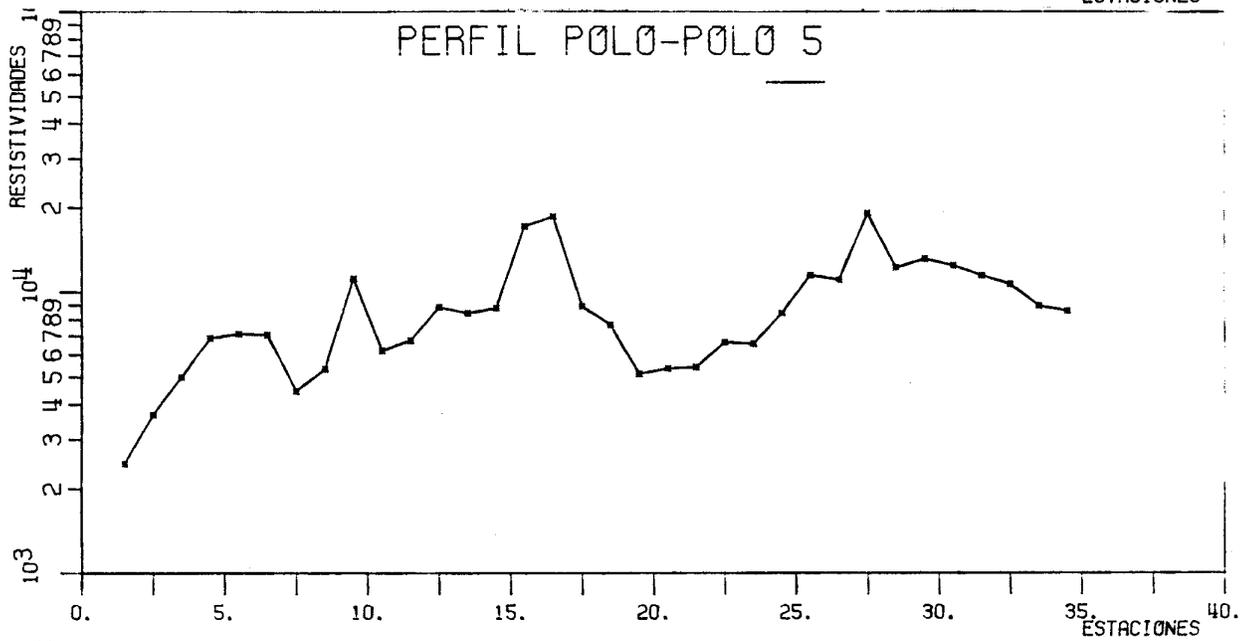
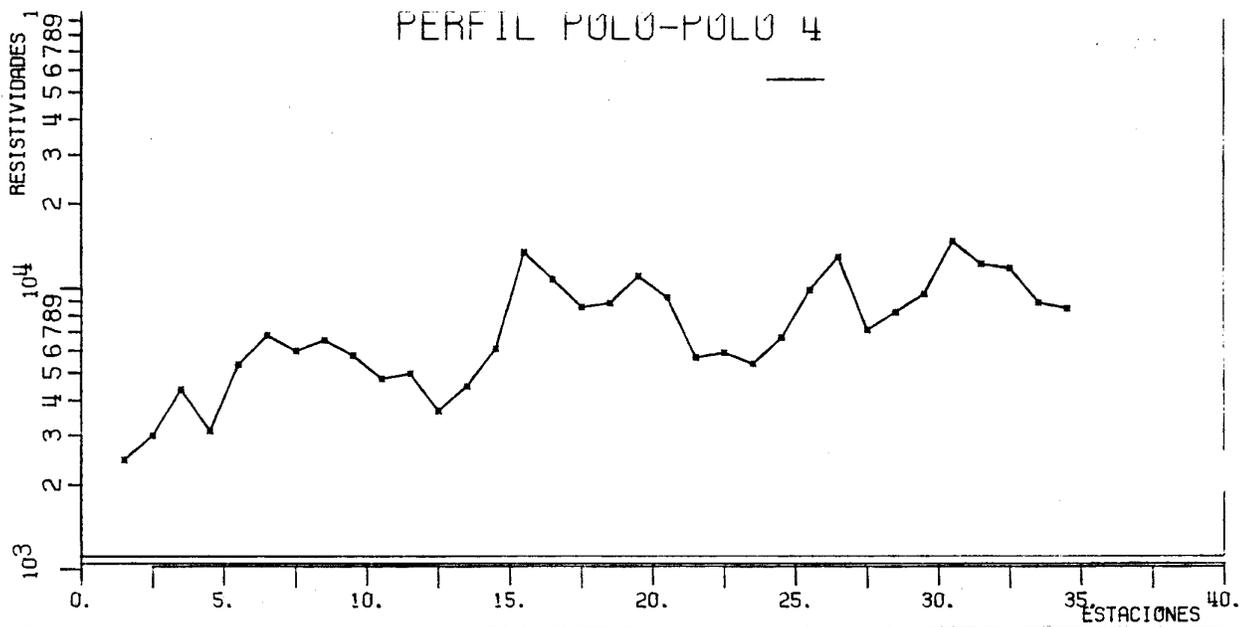


Figura n° 10. Perfiles polo-polo 4, 5 y 6

disminuyendo a partir de aquí hacia el E. En los segundos 6 niveles aparecen tres ejes resistivos entre las estaciones 6-8, 23-24 y 29-31 respectivamente.

- PERFIL 2.- Línea de buena calidad, con dos claras estructuras resistivas de buzamiento E en 10-13 y 24-25. Se observan ciertas estratificaciones superficiales de la resistividad, que disminuye significativamente con el nivel de medición. Es ilustrativo comparar esta sección con la correspondiente a 25 m. (Plano nº 7).
- PERFIL 3.- Perfil similar al anterior, con las dos estructuras resistivas citadas ahora en 10-14 y 20-23. Se observan también la estratificación y disminución de resistividad mencionadas. Aparecen zonas internas de resistividad elevada, como los apéndices del primer dique.
- PERFIL 4.- Supone una discontinuidad respecto a los dos anteriores ya que presenta tres estructuras resistivas; la primera en 7-9 subafiorante, la siguiente en 13-17 y la última en 24-30. También se produce la estratificación de resistividades hasta el primer dique y su disminución con el nivel de medición.
- PERFIL 5.- Quizá sea la línea de peor calidad, junto con la 1, presentando muchas anomalías redondeadas, infrecuentes en pseudosecciones, en un contexto de resistividades altas predominantes en casi todo el perfil. Aparecen estructuras no muy bien definidas entre 10-16 y 25-29.
- PERFIL 6.- Comienza con una zona de resistividades altas superficiales, sin definición estructural. Posteriormente existen 2 diques resistivos muy claros de buzamiento E, uno en 19-21 y el otro en 29-30.

En resumen puede decirse que existen tres líneas de buena calidad, las núms. 2,3 y 6, que presentan estructuras resistivas claras de buzamiento E bien delimitadas. Los peores perfiles son el 1 y 5, sobre todo éste con una confusa amalgama de resistividades.

Por lo que se refiere a las calicatas dipolo-dipolo con espaciado de 25 m, las estructuras resistivas registradas han sido: 10-12 y 21-25 en P2; 9-11, 17-21 y 26-30 en P4; 18-29 en P6 (esta línea es un buen ejemplo de lo que se gana al pasar de 25 a 12,5 m). Las seudosecciones con 25 m son más simples que las de 12'5 m, en parte por que sólo se han medido 6 niveles. Obviamente con 25 m los diques quedan peor definidos, tanto en sus límites, respecto a los que existe mayor incertidumbre, como en buzamiento, si bien dada su anchura y separación son igualmente detectados con el espaciado de 25 m.

6.2.2. Magnetometría.- (Plano nº1 y Figura 11).

El campo magnético en Silán es muy activo, con gradientes elevados tanto EW como NS. Los valores de campo se encuentran entre los 44.500 y 46.500 nT, predominando los comprendidos en el entorno 45.000-45.500 nT. La distribución de las anomalías es errática, desordenada, sin correlación con la cartografía, particularmente con los diques pegmatíticos (salvo quizás con el situado más al W en los perfiles 2 y 3). La situación recuerda zonas de alto relieve magnético que rodean cuerpos graníticos, caso frecuente en el Macizo Ibérico. Una posible explicación de este tipo de anomalías es la recristalización de FeO en Fe₃O₄, provocada por metamorfismo térmico. En todo caso, el uso de la magnetometría como guía de prospección de feldespatos parece dudoso, al menos en un entorno de proximidad a granitos.

6.3. PLANO DE SINTESIS DE ANOMALIAS.-

En el Plano nº 8 se representa un transporte de valores promediados de resistividad (ficheros

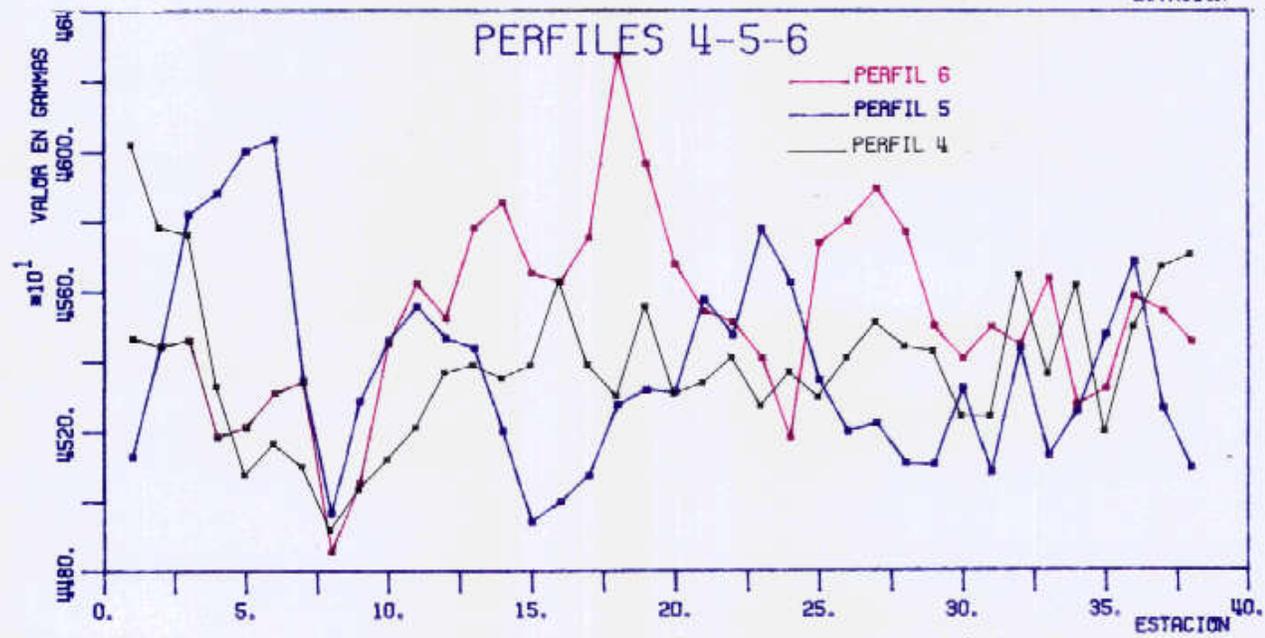
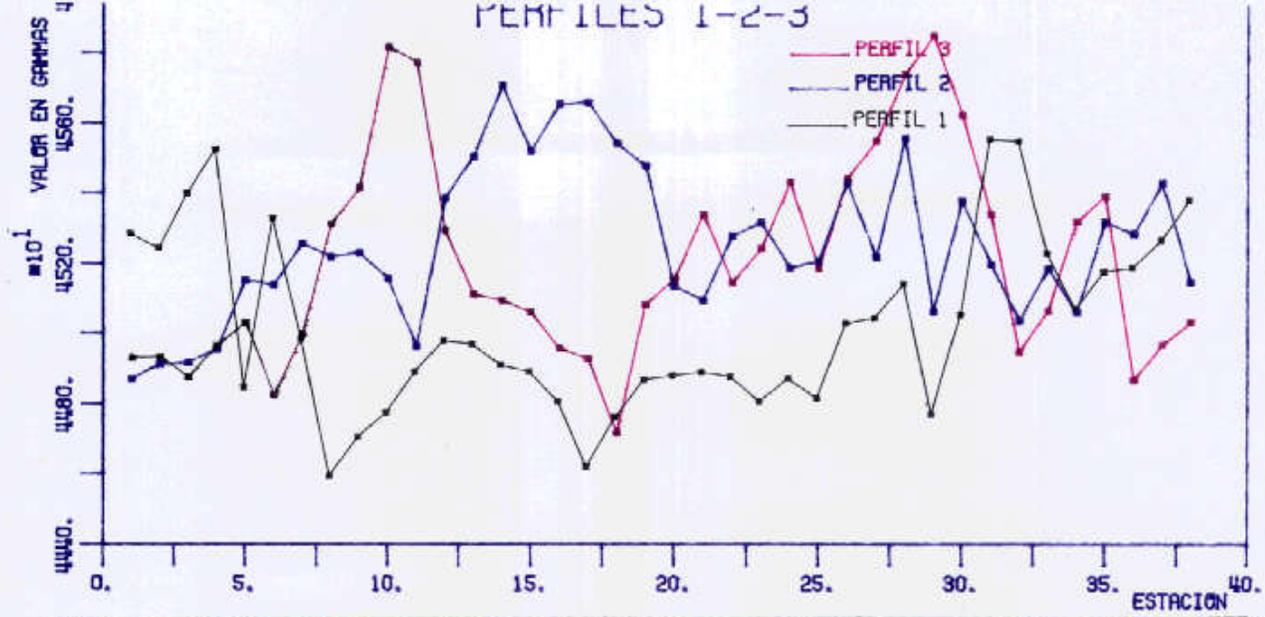


Figura n^o 11. Perfiles magnetometria

*.RES). El Plano nº 9 incluye las anomalías descritas en 6.2. (CTC y CTD : contacto y dique respectivamente, en calicata trielectrónica, PPC y PPD, contacto y dique en calicata polo-polo; D-D: estructura resistiva en línea dipolo-dipolo). La base del mapa son los perfiles y estaciones medidas (fichero MAG.PRN) y la geología de detalle de la zona (fichero SILANGE.DAT).

Se observa una buena correspondencia entre las calicatas dipolo-dipolo y polo-polo en las líneas 2,3 y 4, si bien los diques en los perfiles polo-polo parecen en general más anchos y desplazados hacia el E respecto de su situación obtenida a través de las seudosecciones dipolo-dipolo. Ello es debido a que estas últimas se han interpretado según la prolongación de la estructura resistiva en los doce niveles de medida, mientras que la anomalía polo-polo viene influida por lo que se manifiesta superficialmente como una extensión o engrosamiento de los diques con resistividades altas y estratificadas (ver por ejemplo la respuesta del Dique E en los perfiles 2 y 3, plano 5).

La correlación de las calicatas dipolo-dipolo y trielectrónicas es peor, salvo en la línea 2 (dique E).

En cuanto al ajuste entre las estructuras resistivas interpretadas y la base geológica del plano 9, es aceptable en las líneas 2 y 3, donde los resultados geofísicos son de mejor calidad. Se vuelve a insistir en que la situación de las anomalías dipolo-dipolo se ha interpretado según la prolongación de las estructuras en profundidad. En el resto de las líneas la correspondencia entre la cartografía y los ejes resistivos es confusa. A este respecto los isovalores de resistividad promediada (Plano 8), que suelen servir de diagnóstico de este tipo de alineaciones, tampoco ofrecen una imagen clara.

INTERPRETACION 2. LA QUINTA

7. INTERPRETACION 2. LA QUINTA.-

La característica común y más destacable de todos los SEDT medidos es que la señal útil es de muy corta duración debido al carácter resistivo de la sección geoelectrica y a la aparente ausencia de contrastes de resistividad entre los feldespatos y los metasedimentos.

Esta rápida extinción del campo EM transitorio hace que únicamente algunos canales correspondientes a la frecuencia más alta sean representativos de la respuesta del subsuelo. El resto de las medidas corresponden a ruido porque la amplitud de la señal cae por debajo del nivel de resolución del equipo.

El hecho que comentamos se ilustra de modo teórico en la Figura 12. Observese en ella como la primera parte de la curva de potencial muestra una tendencia decreciente, sin discontinuidades y con un elevado rango dinámico. Refleja perfectamente la extinción del campo magnético secundario de un medio resistivo. Tal extinción se produce en un intervalo de 8 ms. Por tanto todos los canales de lectura situados por detrás de ese límite solo miden ruido de tipo instrumental y sus lecturas han de desecharse.

Al transformar los valores de potencial en valores de resistividad aparente el gráfico obtenido para el mismo SEDT, es el de la Figura 13. Igual que en el caso anterior hemos señalado en él cual es la parte útil de la curva de SEDT.

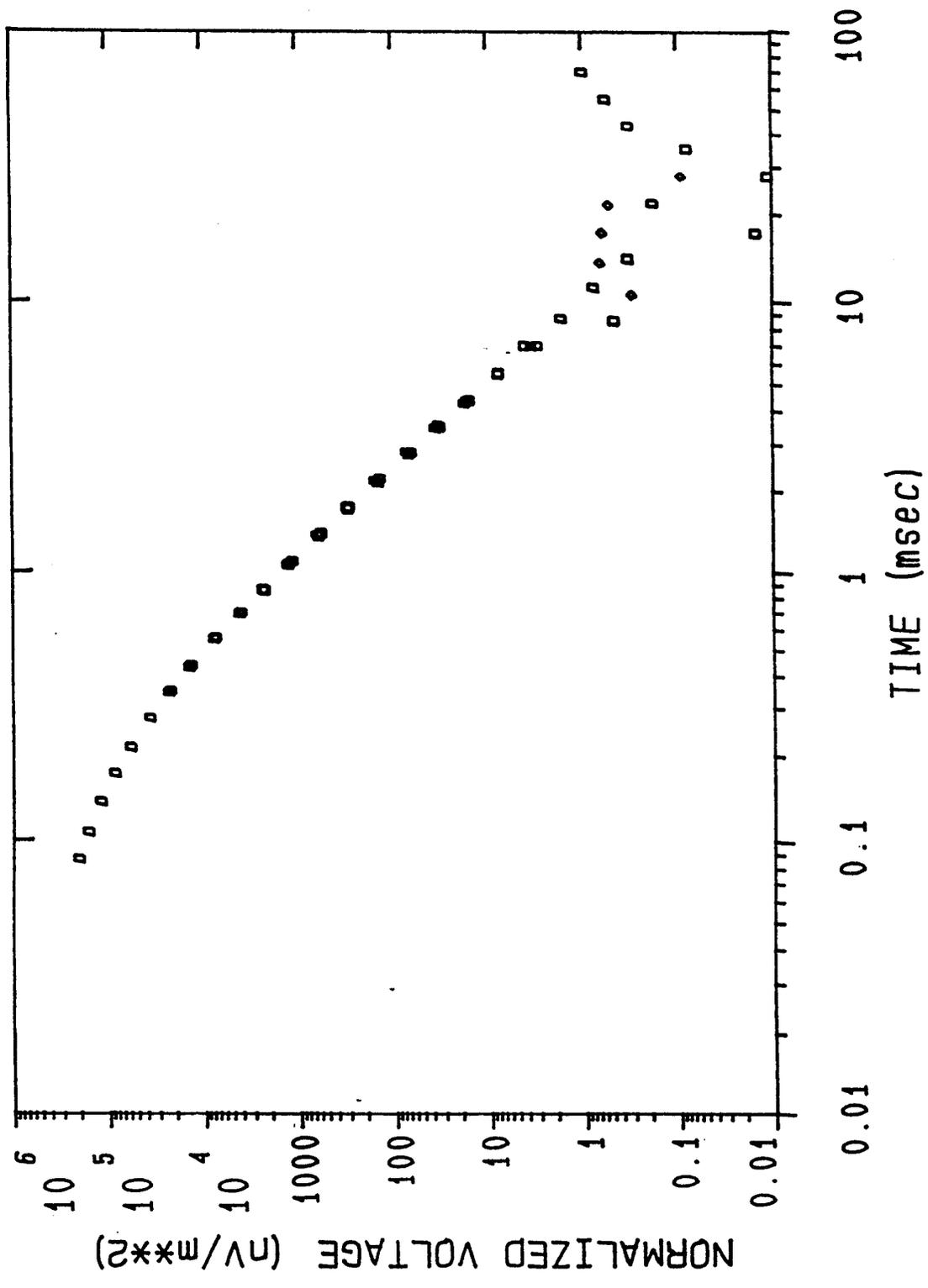


Fig. 12.- Ejemplo de respuesta de un medio resistivo en la curva de potencial normalizado.

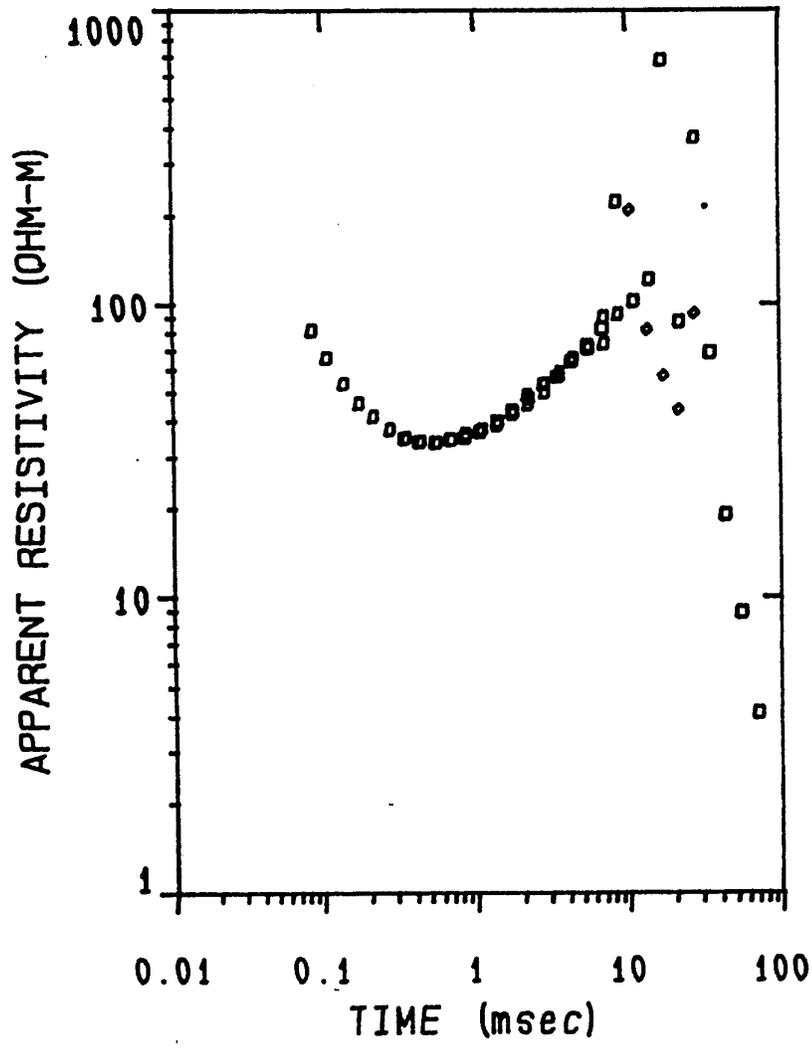


Fig. 13.- Ejemplo de respuesta de un medio resistivo en la curva de resistividad aparente.

Insistimos una vez más que esta respuesta no se debe a un mal funcionamiento del equipo, sino al carácter resistivo de los materiales aflorantes y a la ausencia de capas de tipo conductor en el rango de profundidad que afecta a nuestras medidas. En todo caso téngase en cuenta que el tamaño de los bucles transmisores y los parámetros de la operación son adecuados para alcanzar penetraciones del orden de 100 m como regla general. (Suficientes para un objetivo que como el propuesto se supone a pocas decenas de metros de la superficie).

Las curvas de resistividad aparente obtenidas se incluyen como Anexo de este Informe, junto con la interpretación realizada en cada caso. Esta interpretación viene representada por el modelo de capas que se incluye en la parte derecha de cada gráfico. De todos modos es evidente que los resultados obtenidos no reflejan ningún rasgo de interés respecto a la localización de los feldespatos, ya que éstos no evidencian suficiente contraste de resistividad respecto al medio rocoso encajante.

CONCLUSIONES

8. CONCLUSIONES.-

En lo que respecta al área de Silán podemos resumir los resultados del trabajo realizado en los dos puntos siguientes:

Modelización.-

El modelo geoelectrico de trabajo, supuesto representativos, ha sido uno de 2 diques anchos (2,5 veces el espaciado interelectrónico a), buzamiento medio al E de 12.000 Ohm.m de resistividad frente a un fondo (metasedimentos) de 2000 ohm.m. Con este modelo la respuesta teórica de todos los dispositivos es intensa y bien localizada para $n=1$. La modelización ha permitido establecer la forma teórica de los perfiles y pseudosecciones y los puntos característicos de contactos y diques.

Perfiles medidos.-

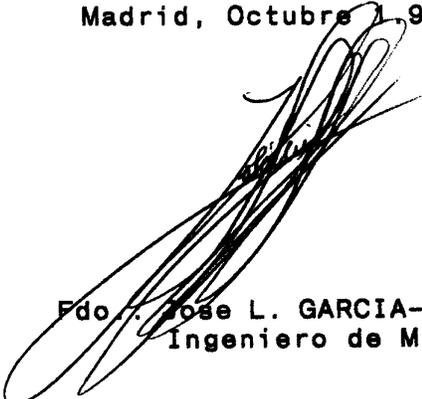
Se han detectado una serie de ejes anómalos resistivos en prácticamente todos los perfiles y con los tres dispositivos utilizados (Plano 9). Pero estas anomalías son de buena calidad sólo en los perfiles 2, 3 y 6 para las calicatas trielectrónicas y dipolo-dipolo (Sobre todo éstas, que presentan estructuras resistivas claras de buzamiento E bien delimitadas); y 2 y 3 en el caso de las polo-polo. Los perfiles 4 y 5 son sólo de calidad media-baja. Estos ejes resistivos concuerdan razonablemente con los diques pegmatíticos en los perfiles 2 y 3, según la interpretación de los resultados con el dispositivo dipolo-dipolo (más claros y más fiables que el resto). Puede concluirse que es en éstas dos líneas donde el modelo geofísico se aproxima más a la situación geológica real.

El modelo geoelectrico de La Quinta muestra un comportamiento de tipo resistivo y ausencia de contrastes de resistividad entre los feldespatos y los metasedimentos. Por ello las obtenidas mediante los SEDT no aportan ninguna información de interés respecto a los objetivos del estudio. Ello al margen de las dificultades con que hubo de realizarse la toma datos.

Madrid, Octubre 1, 1992.



Fdo.: Angel GRANDA
Ingeniero de Minas.



Fdo.: Jose L. GARCIA-LOBON.
Ingeniero de Minas.

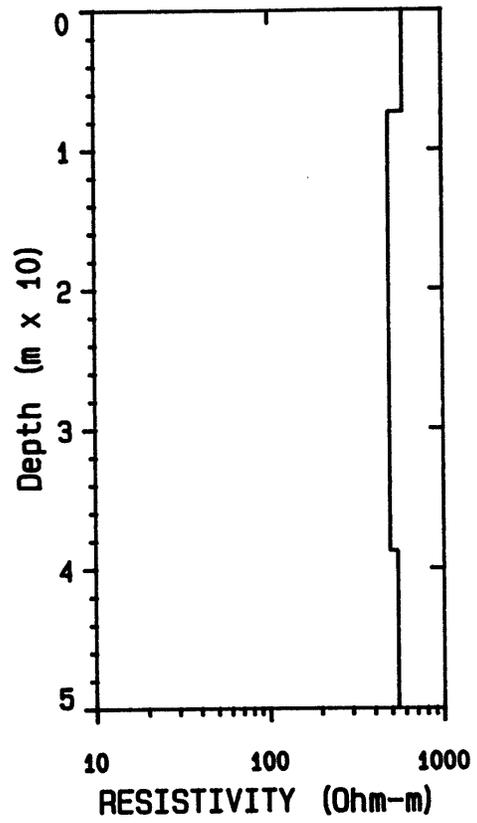
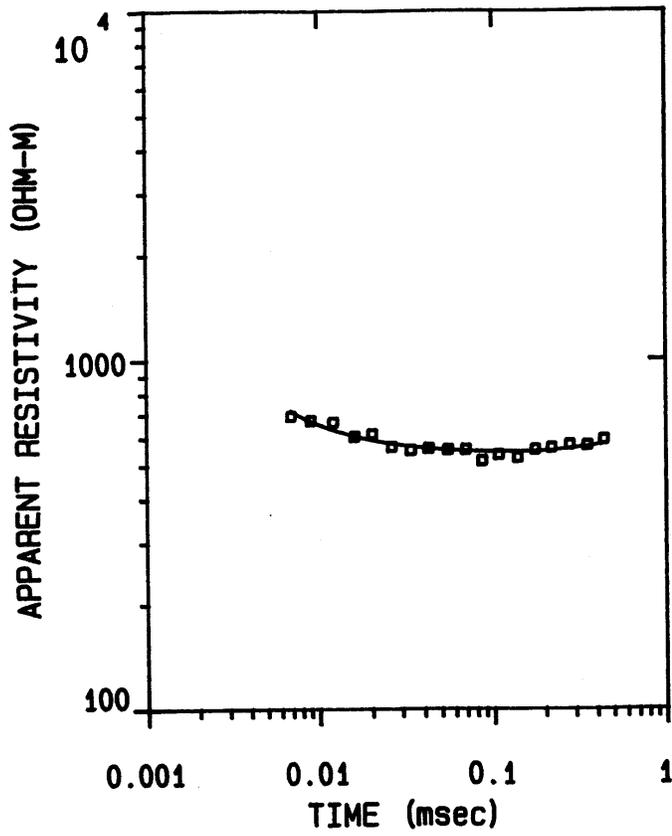
BIBLIOGRAFIA

9. BIBLIOGRAFIA.-

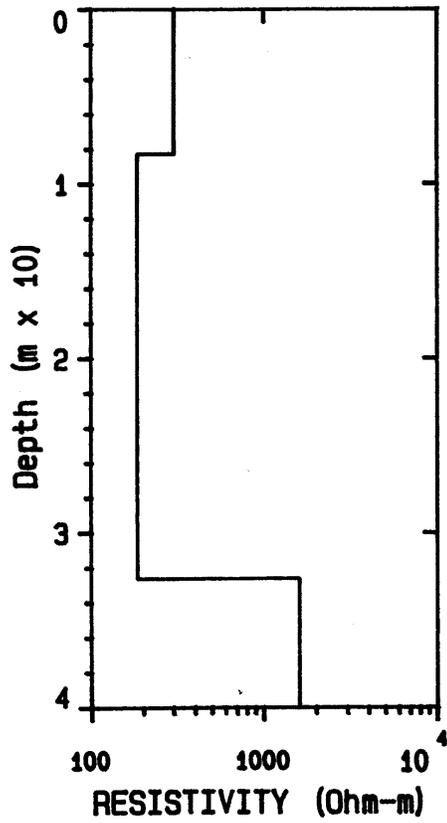
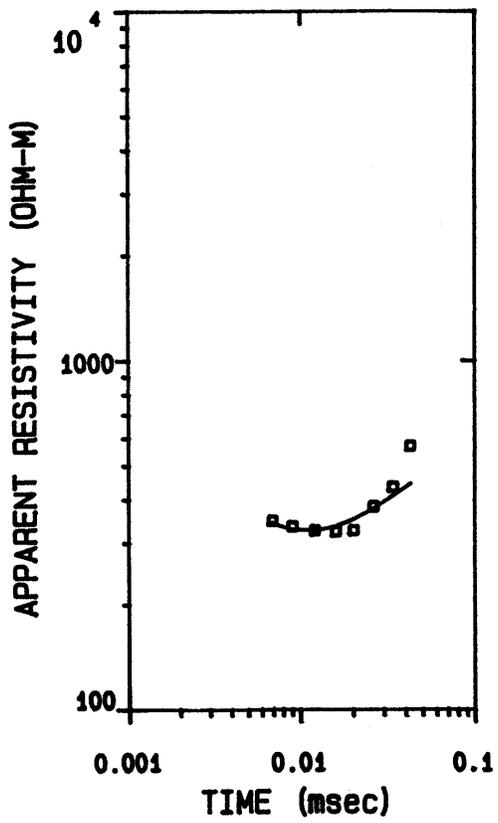
- * APPARAO, A. 1.991. Geoelectric profiling. GEOEXPLORATION, 27: 351-389.
- * COGGON, J.H. 1.973. A comparison of IP electrode arrays. GEOPHYSICS 38: 737-761.
- * WARD, S.H. 1.990. Resistivity and Induced Polarization Methods. INVESTIGATION IN GEOPHYSICS nº 5, 147-189. S.E.G.
- * RESIXIP2D.- User's manual. INTERPEX LTD. 1.991.
- * TEMIXGL.- User's manual. INTERPEX LTD. 1.990.

CURVAS DE SEDT EN LA QUINTA

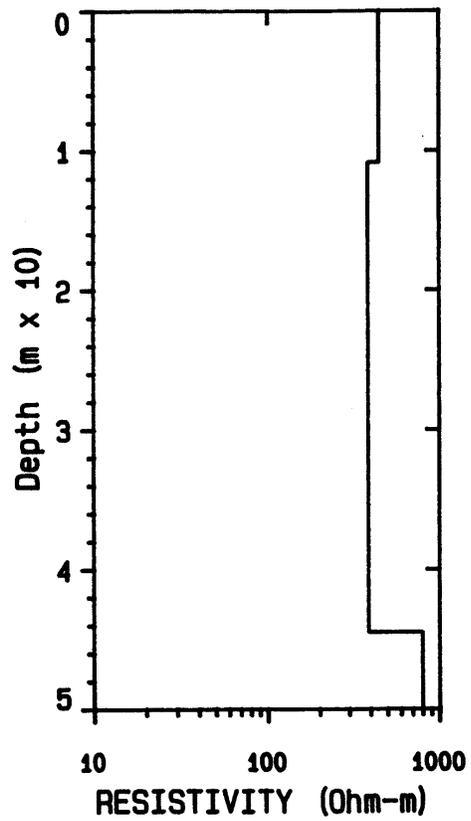
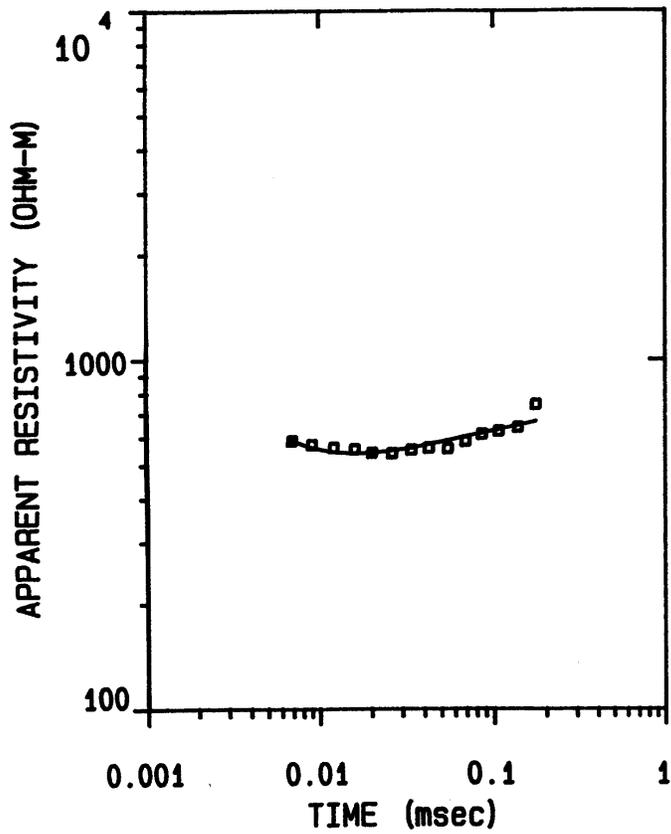
SEDT-1



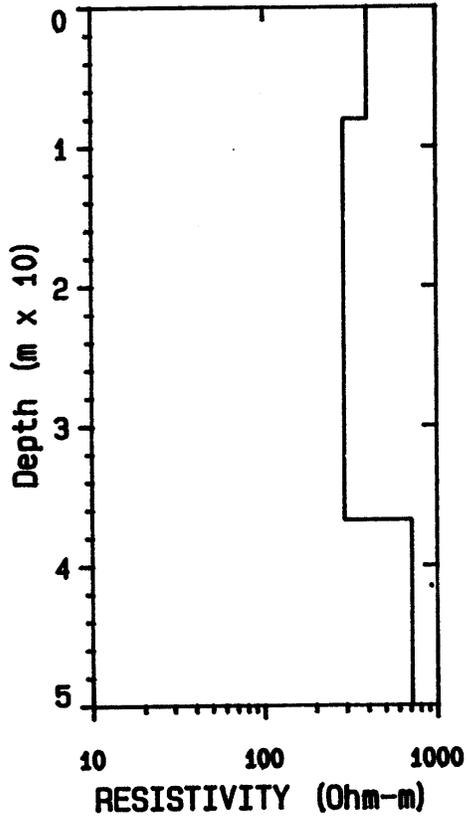
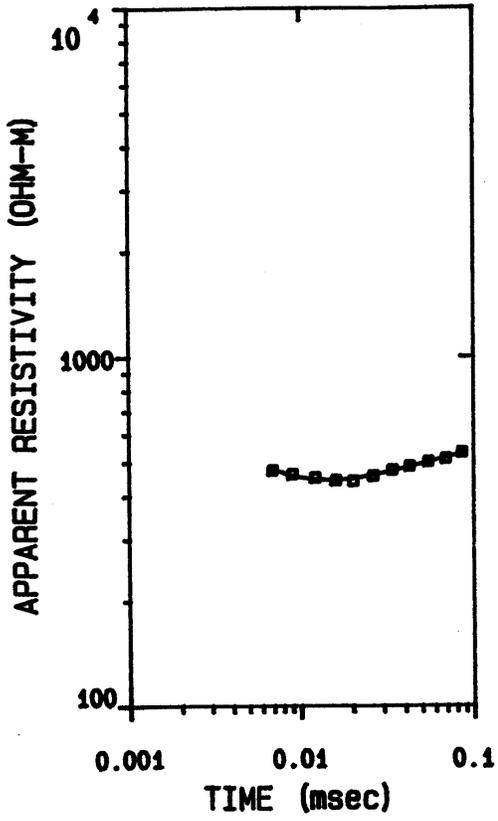
SEDT-2



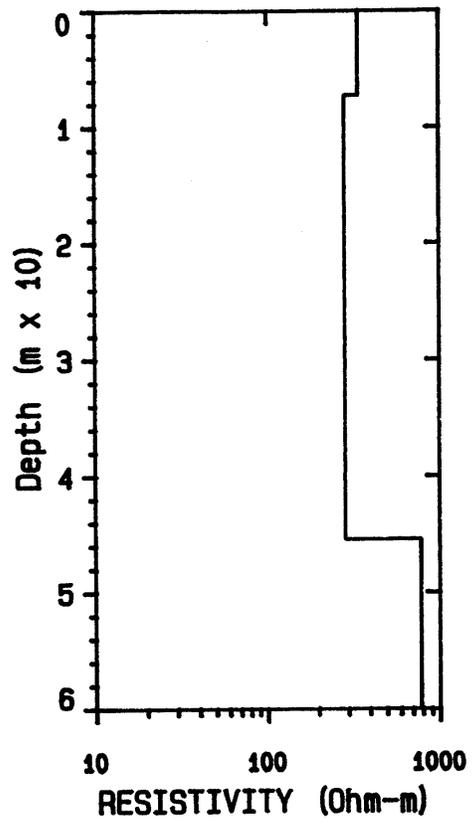
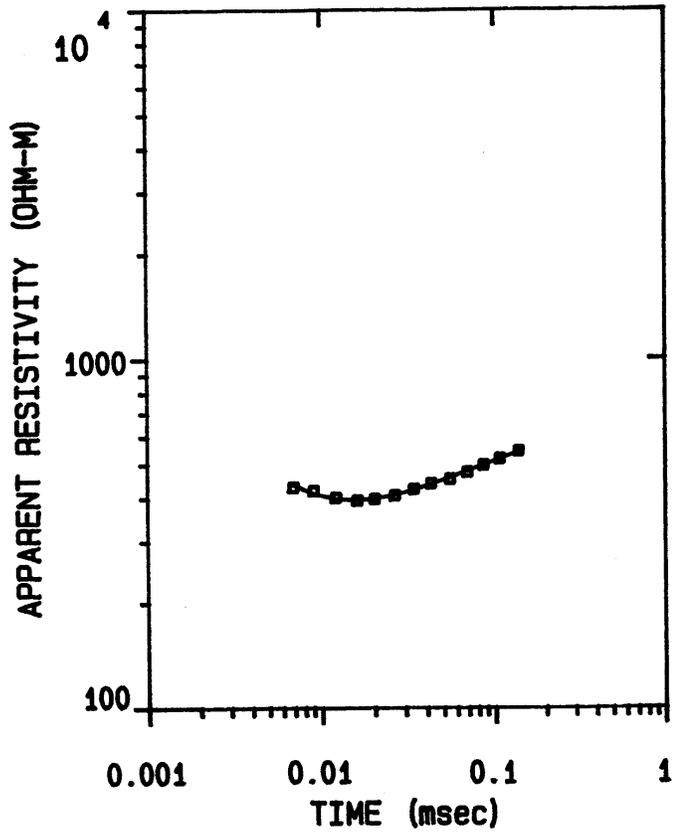
SEDT-3



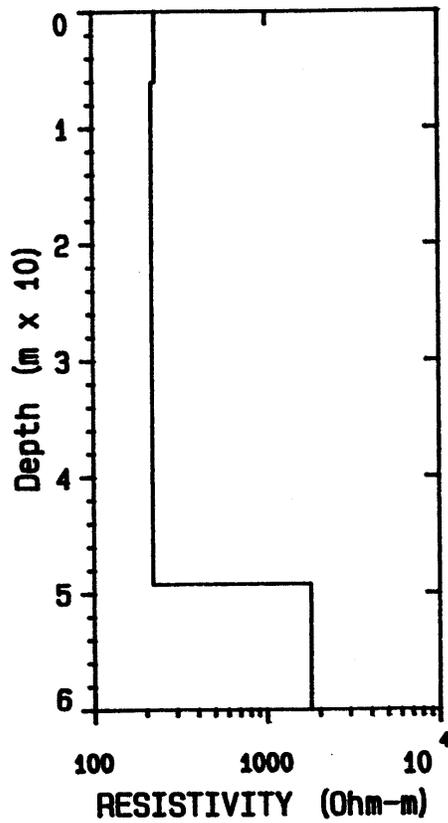
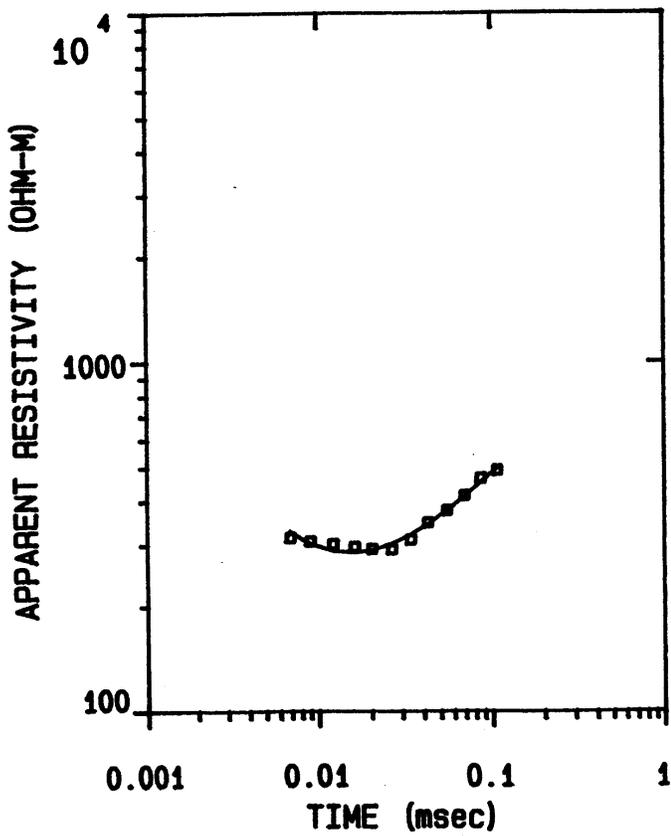
SEDT-4



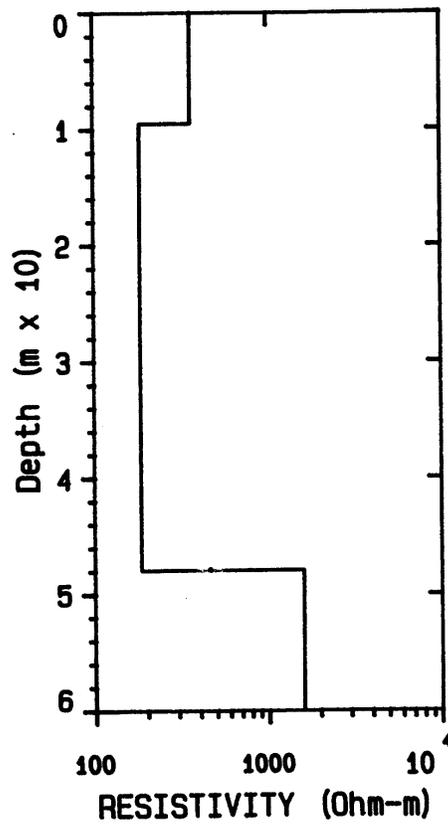
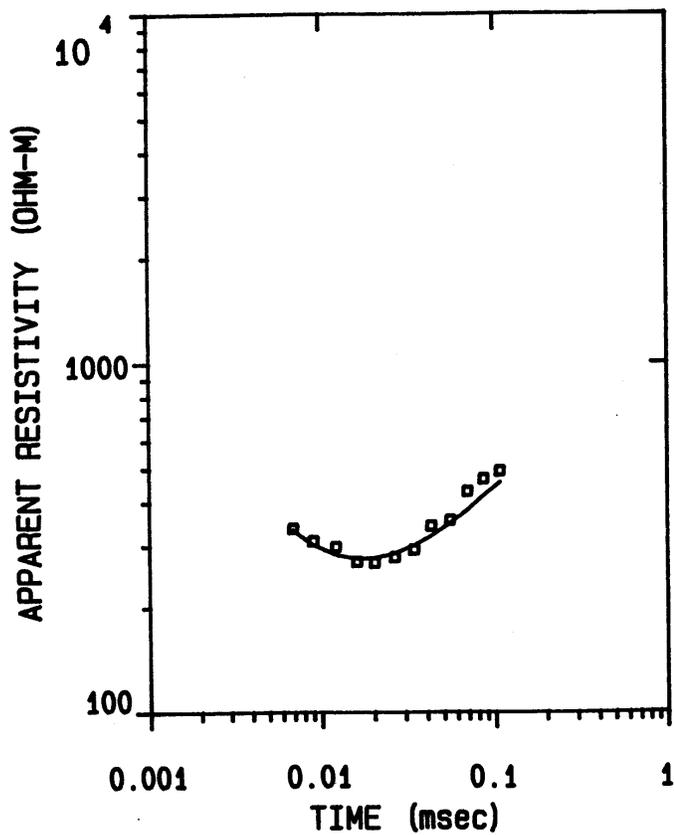
SEDT-5



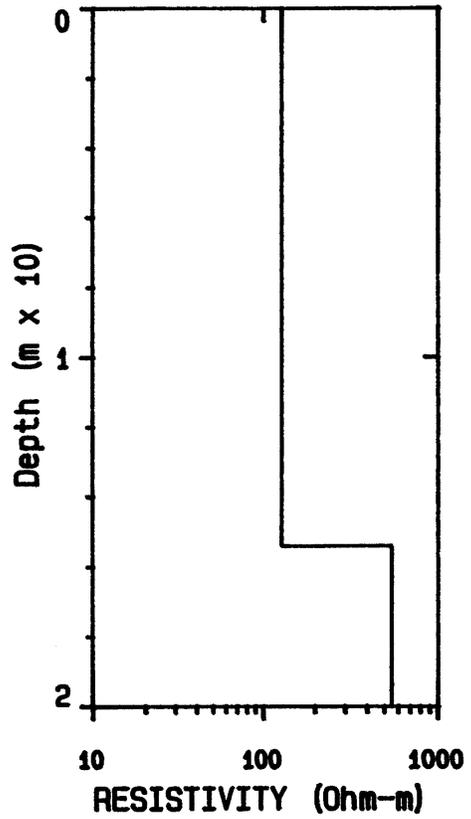
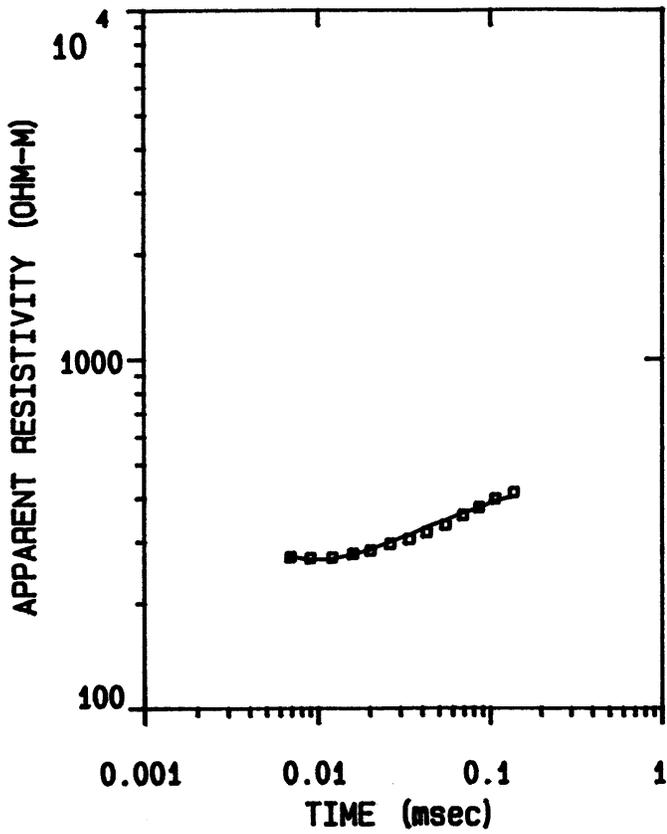
SEDT-6



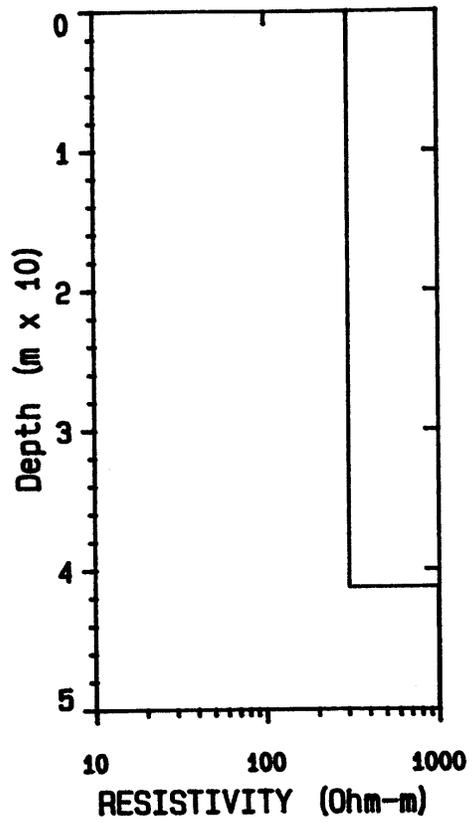
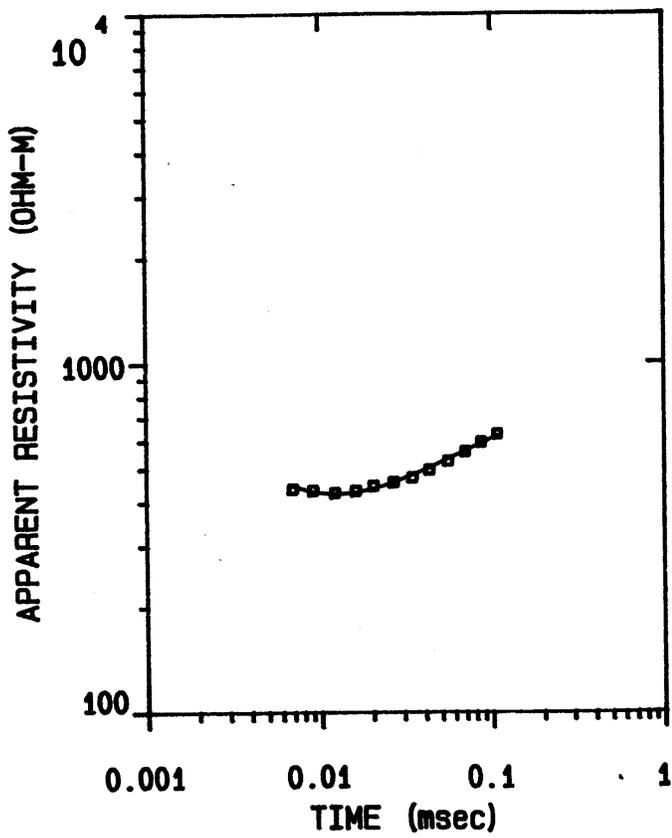
SEDT-7



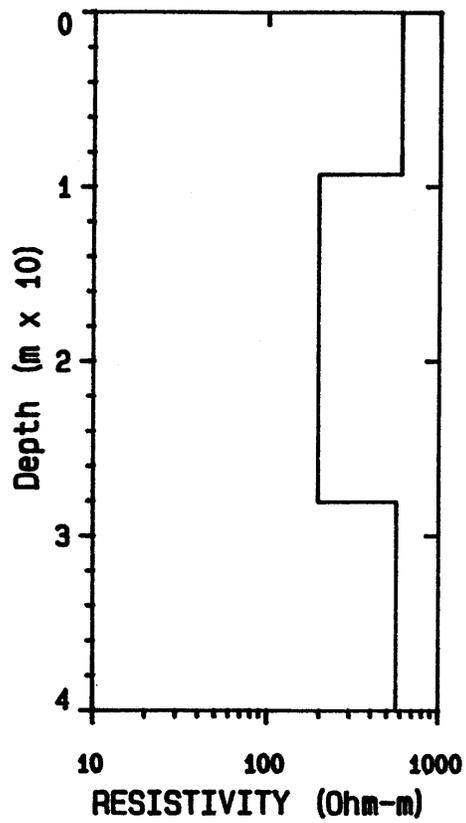
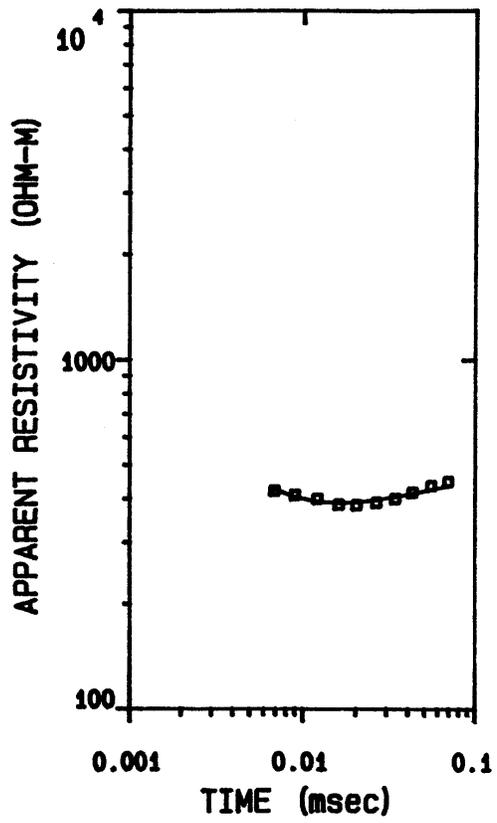
SEDT-8



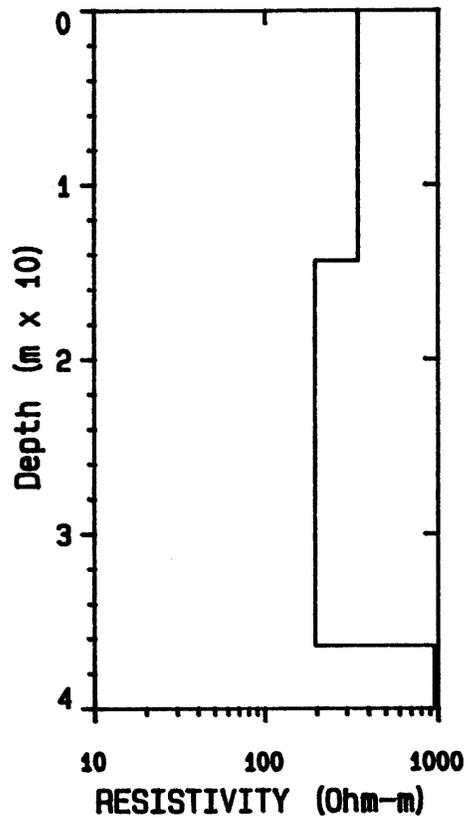
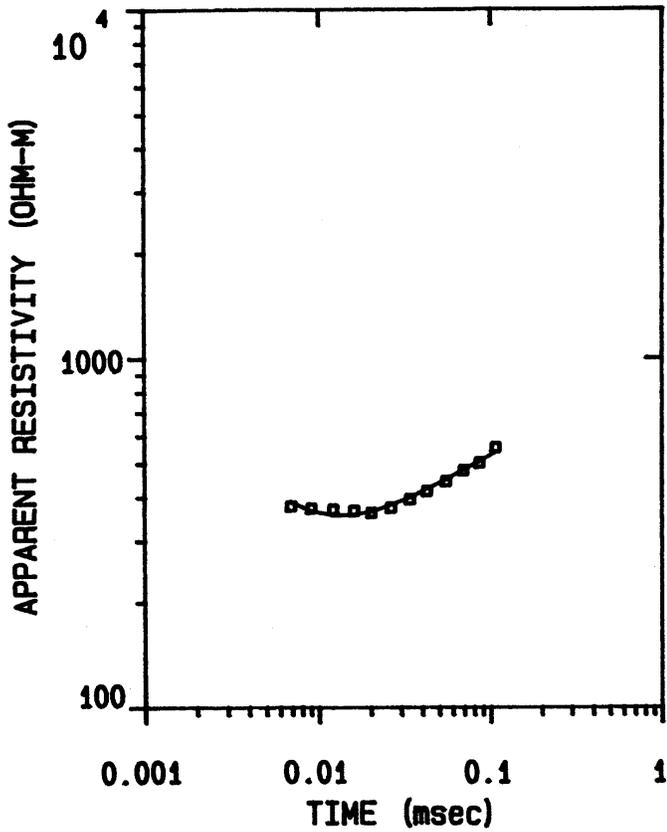
SEDT-9



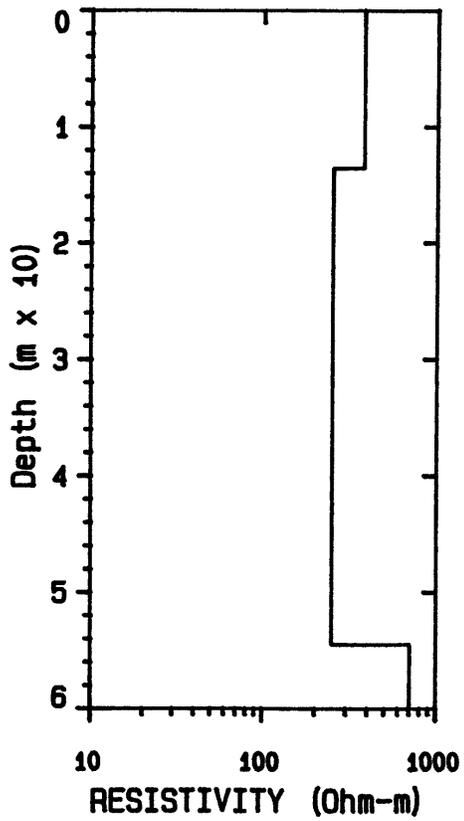
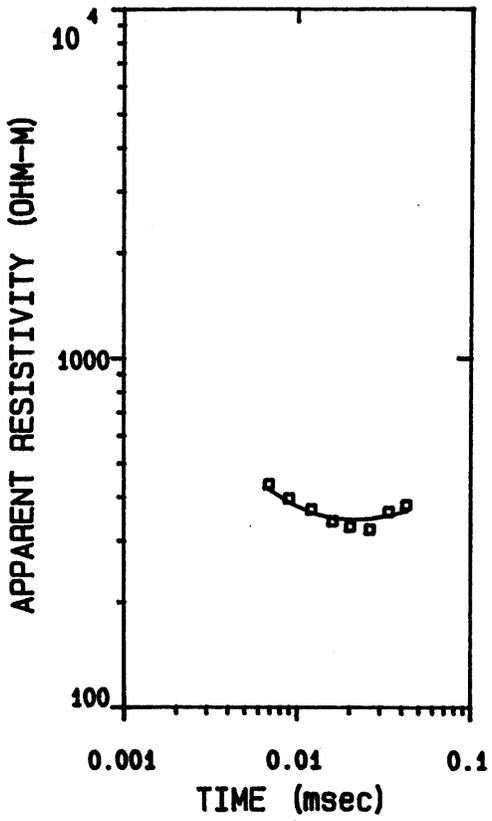
SEDT-10



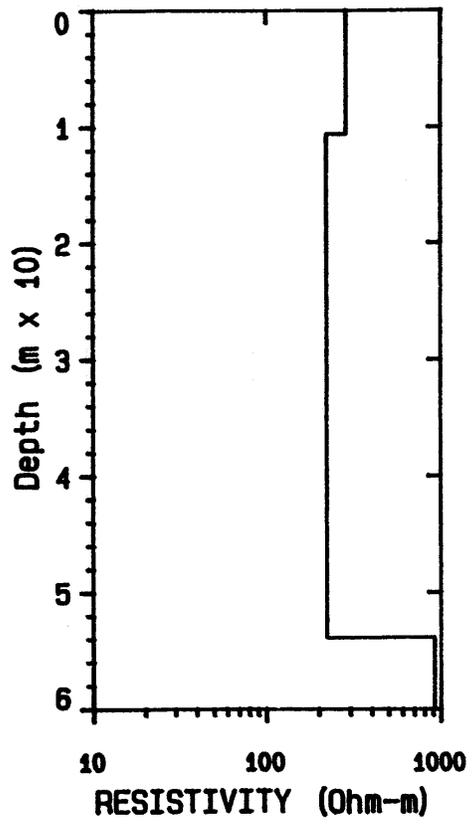
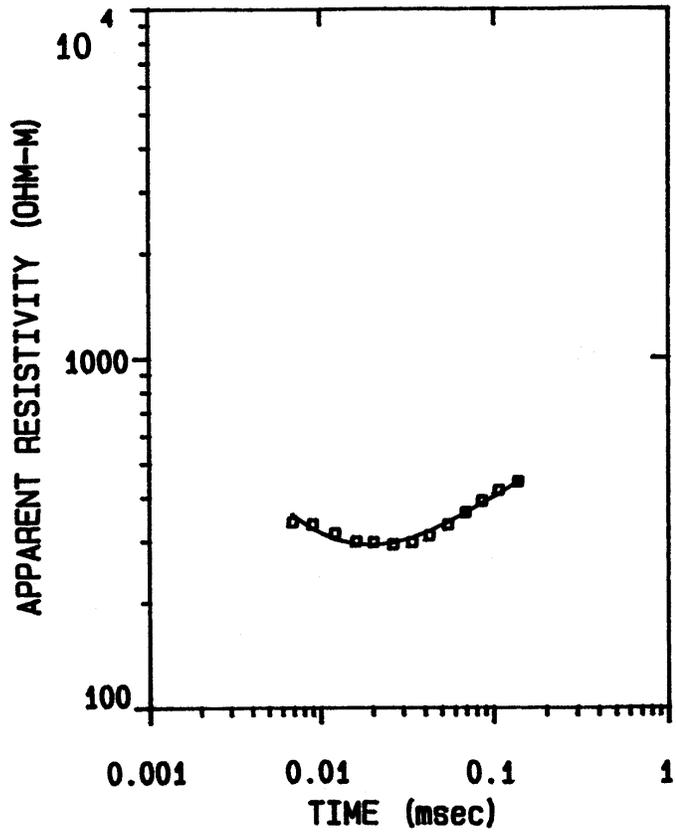
SEDT-11



SEDT-12



SEDT-13



SEDT-14

