

ANALISIS DE LAS POSIBILIDADES DE UTILIZACION DEL METODO DE SONDEOS ELECTROMAGNETICOS DE DOMINIO DE TIEMPOS A LA EXPLORACION EN ZONAS DE DIFICIL EMPLEO DEL METODO DE SEV. APLICACION - AL SECTOR DE LORCA.

TOMO I - MEMORIA

40266

I N D I C E

I N D I C E

	<u>Pág.</u>
1. <u>INTRODUCCION</u>	1
2. <u>OBJETIVOS</u>	3
3. <u>RESUMEN TEORICO DEL METODO GEOFISICO DE LOS SONDEOS ELECTROMAGNETICOS DE DOMINIO DE TIEMPOS</u>	6
3.1. DESCRIPCION DEL SISTEMA.....	6
3.2. RESISTIVIDAD APARENTE-CURVAS DE RESISTIVI- DAD APARENTE.....	10
3.3. MEDIO UNIFORME.....	13
3.4. MEDIOS ESTRATIFICADOS.....	15
3.5. VENTAJAS DE LOS SONDEOS ELECTROMAGNETICOS DE DOMINIO DE TIEMPOS SOBRE OTROS METODOS ELECTRICOS.....	18
3.6. INTERPRETACION DE SONDEOS ELECTROMAGNETI- COS DE DOMINIO DE TIEMPOS.....	20
4. <u>MODELOS GEOLOGICOS CONSIDERADOS</u>	25
4.1. CUENCAS EVAPORITICAS DEL LEVANTE ESPAÑOL..	25
4.2. DEPRESION DE OLOT.....	27
4.3. ZONAS DE COMPLEJIDAD TECTONICA O ESTRUC- TURAL.....	27
4.4. COMENTARIOS A LAS CURVAS TEORICAS OBTE- NIDAS.....	29
4.4.1. <u>SEDT correspondientes a los sondeos nº 4 y 5 de Lorca</u>	31
5. <u>ENSAYOS DE CAMPO EN LA CUENCA DE LORCA</u>	35
5.1. ASPECTOS CUALITATIVOS DE LOS SEDT REALI- ZADOS.....	39
5.1.1. <u>SEDT correspondientes a los sondeos mecánicos</u>	39
5.1.1.1. <u>Comparación con los SEV realizados sobre los son- deos mecánicos</u>	41
5.2. INTERPRETACION CUANTITATIVA.....	44
6. <u>CONCLUSIONES</u>	58
7. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	60

INDICE DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Nº 1.- Dispositivos de medida más comunes para SEDT.....	7
Nº 2.- Esquema simplificado del fundamento del método EM de Dominio de Tiempos.....	9
Nº 3.- Comportamiento de las corrientes de difusión en función del tiempo.....	11
Nº 4.- Posición del máximo de corriente de difusión en un semiespacio homogéneo en función de su resistividad.....	14
Nº 5.- Curvas de SEDT de dos capas para basamento resistivo.....	16
Nº 6.- Curvas de SEDT de dos capas para basamento conductor.....	17
Nº 7.- Ejemplo de interpretación de SEDT.....	23
Nº 8.- Esquema general de la cuenca de Lorca en el sector del ensayo geofísico.....	26
Nº 9.- Esquema geológico de la depresión de Olot.....	28
Nº 10.- Esquema geológico de una zona compleja desde el punto de vista estructural.....	30
Nº 11.- Curvas teóricas de SEDT correspondientes al sondeo nº 4.....	32
Nº 12.- Curvas teóricas de SEDT correspondientes al sondeo nº 5.....	33
Nº 13.- Aspectos cualitativos de las curvas de SEDT correspondientes al ensayo en Lorca.....	38
Nº 14.- SEDT correspondientes a los sondeos mecánicos nº 4 y 5.....	42
Nº 15.- SEV correspondientes a los sondeos mecánicos nº 4 y 5.....	43
SEDT nº 1 al nº 11.....	46 a 56

PLANOS

Nº 1.- SITUACION DE LOS SEDT REALIZADOS.

ANEXOS

- Nº 1.- CURVAS TEORICAS CORRESPONDIENTES AL AREA DE LORCA.
- Nº 2.- CURVAS TEORICAS CORRESPONDIENTES AL AREA DE OLOT.
- Nº 3.- CURVAS TEORICAS DE UNA ZONA DE COMPLEJIDAD ESTRUCTURAL.
- Nº 4.- PROGRAMAS DE TRATAMIENTO DE SEDT.

1. INTRODUCCION

1. INTRODUCCION.

A lo largo de los últimos diez años en diversos proyectos llevados a cabo por el IGME se han aplicado las técnicas geofísicas de prospección hasta casi agotar las posibilidades de empleo de las mismas, especialmente en el ámbito de los métodos de resistividad por CC.

La diversidad de modelos geológicos involucrados en tales proyectos, en función de los objetivos de cada caso, ha planteado una serie de interrogantes respecto a la utilidad de los métodos clásicos en ciertas aplicaciones. Complementariamente se han ido definiendo algunas situaciones geológicas típicas que podríamos catalogar como irresolubles a través de la metodología tradicional.

Paralelamente a esta situación se ha producido en los países de tecnología geofísica más avanzada un desarrollo e incorporación de nuevos métodos que a nivel teórico y también en el plano práctico ofrecen amplias posibilidades de empleo precisamente en aquellos casos que en cierto modo podrán ser considerados como límites para las técnicas convencionales.

Limitándonos al ámbito de lo definido comúnmente como "geological mapping" o dicho en otros términos, - al estudio de la distribución de las unidades rocosas en profundidad y a los accidentes tectónicos o de otro tipo que les afecten; el método Electromagnético de Dominio de Tiempos (TDEM) aplicado en la modalidad de sondeo eléctrico resulta enormemente atractivo. Los resultados de casos reales que han ido apareciendo en la bibliografía más reciente avalan el interés de considerar las posibilidades de empleo sobre casos que, como se ha dicho, se han plan-

teado en diversos estudios del IGME. En las referencias bibliográficas este método se reseña también como método de impulsos o transitorio.

Formando parte de las funciones propias del IGME la potenciación y desarrollo de nuevos métodos que puedan incorporarse a los proyectos infraestructurales y de estudio del medio geológico, es obvio el interés que puede representar el método Electromagnético de Dominio de Tiempos aunque en este caso se haga limitándonos exclusivamente a la modalidad de sondeos eléctricos.

Habida cuenta de que el presente trabajo comporta un ensayo de metodología geofísica que ha sido recientemente desarrollada con la finalidad de cubrir un vacío existente en los métodos eléctricos tradicionales en cuanto a problemas de profundización y de pantallas resistentes que surgen con frecuencia en investigación minera, este proyecto queda plenamente justificado en los planes nacionales y de actividad del IGME dentro del programa 741 A: Fomento de la Minería no energética, artículo 64: Inventario y valoración del potencial minero no energético, bloque de actividad 64.1; Estudios básicos preliminares y de apoyo.

El desarrollo del Proyecto se ha llevado a cabo por la Compañía General de Sondeos, S.A. con supervisión de D. Manuel Olmo Alarcón, Ingeniero de Minas de la Sección de Geofísica del IGME. Por parte de CGS el responsable del Proyecto ha sido D. Angel Granda Sanz, Ingeniero de Minas y en el mismo han intervenido D. Alfredo Pérez Tereñes y D. Armando García Rodríguez, ambos Ingenieros de Minas, que han llevado a cabo la toma de datos durante el ensayo en campo y el procesado de los mismos respectivamente.

2. OBJETIVOS

2. OBJETIVOS.

Como se ha dicho existen diversas situaciones geológicas consideradas como objetivo potencial para la aplicación del método de los SEDT según lo establecido -- por las conclusiones de varios proyectos.

De entre todos ellos hay dos que pueden en este momento ser tomadas como piedra de toque para el análisis de las posibilidades reales de utilización de la técnica propuesta. Son las siguientes:

a) Medios volcánicos. De especial interés en el ámbito de los estudios geotérmicos, podría ser aplicable tanto a Olot (Gerona) como al Campo de Calatrava (Ciudad Real) o bien en diversas zonas de las Islas Canarias. Definen este modelo como características más destacables, la existencia de bruscos contrastes laterales de resistividad condicionados por elementos litológicos de escaso desarrollo y la elevada resistividad de algunos elementos de la sección litoeléctrica involucrada.

b) Formaciones "pantalla". Este tipo de situación se da por ejemplo en presencia de formaciones evaporíticas -sal o yesos masivos- o de coberteras de materiales efusivos. Se caracterizan por la limitación que representan respecto a la capacidad de penetración de los métodos eléctricos convencionales, con independencia de ciertos casos de la expansión de los dispositivos de medida o de la intensidad de la señal en el transmisor. Como ejemplos inmediatos a considerar en este apartado podrán citarse -- las cuencas Terciarias con formaciones evaporíticas del Levante español. Especialmente indicada podrá ser la cuenca de Lorca donde en el Proyecto "Investigación de Pizarras bituminosas y control geológico de sondeos en el sector de Lorca (Murcia)", se detectó una potente formación salina cuya continuidad sería muy problemática o casi im-

posible de definir a través de los métodos geofísicos clásicos.

Existe aún una tercera situación típica de potencial aplicación del método porque sus características teóricas así parecen indicarlo y porque en ella es inviable el empleo de otras técnicas de prospección por métodos eléctricos: ambientes geológicos complejos por efecto tectónico o estructural. Su característica básica, -- respecto al empleo de métodos eléctricos de prospección -- es el efecto perturbador de las discontinuidades laterales sobre las propiedades eléctricas del medio geológico sobre métodos que se basan en la existencia de capas planas con extensión lateral indefinida.

Se pretende de este Proyecto obtener una primera valoración de las posibilidades del método de los -- SEDT, a través del cálculo de modelos de curvas teóricas correspondientes a las dos situaciones geológicas descritas en primer lugar. Para ello sobre el modelo geológico básico de cada una de ellas se establecerán las variaciones posibles y se comprobará hasta que punto tales variaciones tienen una traducción diferenciable en las curvas teóricas que se calculen. Con esto se pretende llegar a establecer los límites de resolución del método en cuanto a relaciones profundidad-espesor-resistividad del modelo geológico considerado.

Como última fase, limitada al sector de Lorca, se realizarán en campo los trabajos suficientes para comprobar, de forma real, la respuesta del método en una zona bien conocida a través de diversos sondeos mecánicos -- realizados durante la exploración para pizarras bituminosas.

No pretendemos con estos trabajos llegar a establecer taxativamente la aceptación o rechazo del método de los SEDT, sino obtener una experiencia valorable respecto a los condicionantes de empleo, grado de precisión de sus determinaciones, modalidad operativa más adecuada para las condiciones del modelo geológico involucrado en el estudio en cada caso, etc. Es adecuado hacer notar que estamos considerando el empleo de una técnica compleja en su concepción y en el tratamiento de sus datos; que admite en su aplicación muchos grados de libertad respecto a sus parámetros básicos y que de cualquier forma es el inicio de un camino atrayente que atraviesa multitud de parcelas en que el IGME desarrolla actividades de su competencia.

3. RESUMEN TEORICO DEL METODO GEOFISICO DE LOS SON-
DEOS ELECTROMAGNETICOS DE DOMINIO DE TIEMPOS.

3. RESUMEN TEORICO DEL METODO GEOFISICO DE LOS SONDEOS ELECTROMAGNETICOS DE DOMINIO DE TIEMPOS.

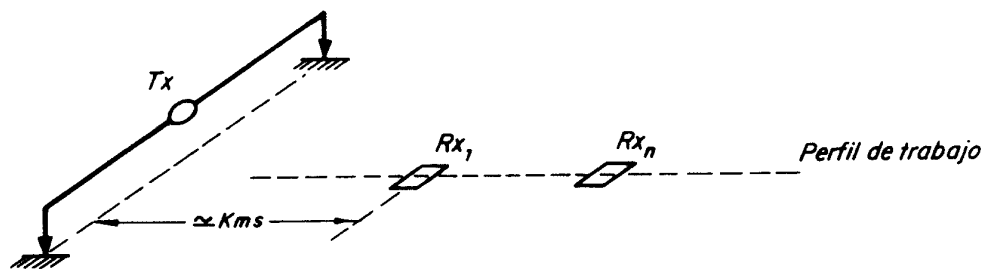
Resulta un tópico pero es habitual iniciar la descripción de este método diciendo que su empleo en la USSR, dentro de la exploración petrolera y geotérmica se remonta a un orden de 20 años atrás. En este tipo de aplicación interesa el estudio de rangos de profundidad superiores a 1 Km.

Más recientemente la incorporación del método a países como USA, Canadá o Australia ha abierto nuevas aplicaciones apoyadas en un notable avance de la instrumentación. En general se refieren a objetivos situados en el rango de decenas o centenares de metros de profundidad tales como:

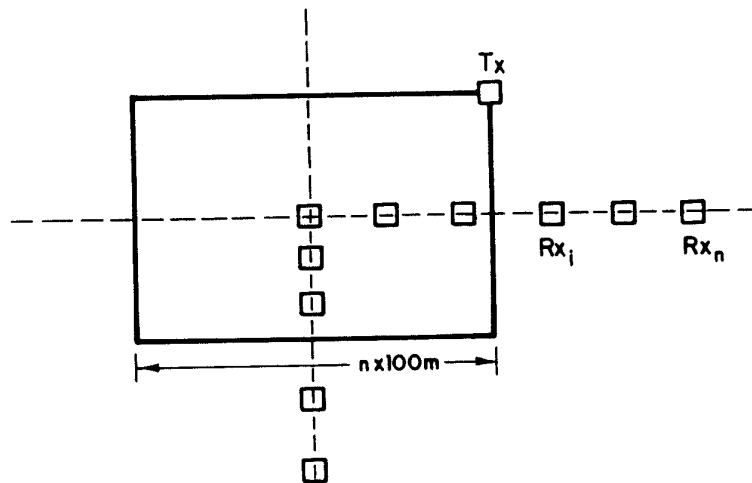
- a) Estudios estructurales para carbón, pizarras bituminosas, prospección de sales, etc.
- b) Estudios hidrogeológicos: morfología de acuíferos recubiertos, detección de paleocanales, etc.
- c) Método de apoyo para sísmica, definiendo espesor de zona alterada en sentido general o potencia de formaciones, pantalla, etc.
- d) Exploración en general y aplicaciones especiales de ingeniería civil.

3.1. DESCRIPCION DEL SISTEMA.

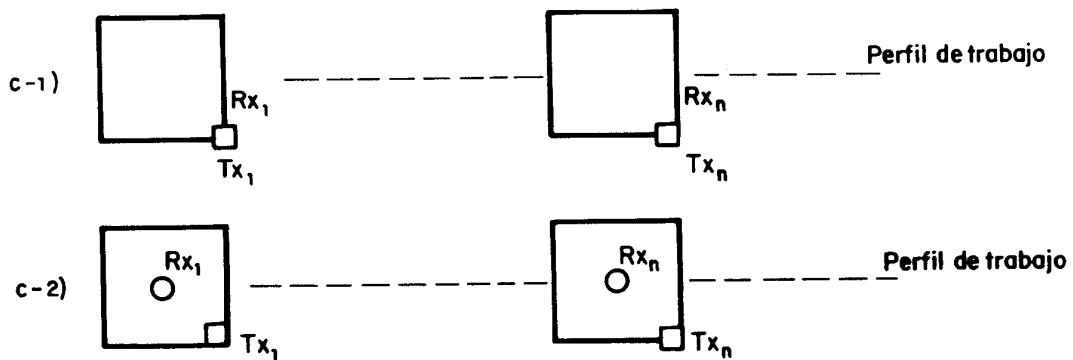
Básicamente está formado por un transmisor y un



a) Transmisor (Tx) mediante un dipolo y receptor (Rx) por bucles móviles o bobinas.



b) Transmisor de bucle fijo y receptor móvil



c) Transmisores de bucle móvil

c-1 con bucle coincidente

c-2 con receptor de bobina en el centro del bucle

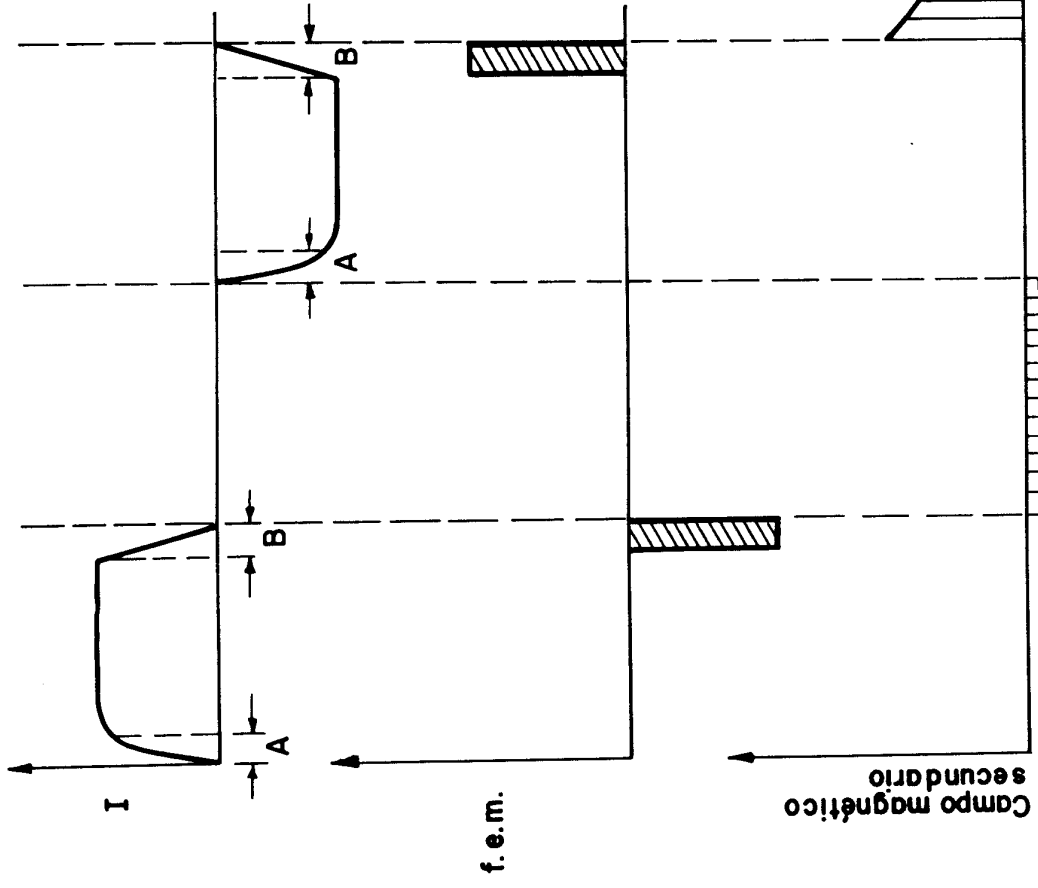
FIGURA 1.- DISPOSITIVOS DE MEDIDA MAS COMUNES PARA SEDT.

receptor que se pueden disponer de multitud de maneras, siendo las más comunes las recogidas en la Fig. 1. Considerado el transmisor constituido por un bucle no conectado al terreno supóngase que se energiza mediante pulsos de corriente controlados en amplitud y duración. -- (Figura 2).

Durante el tiempo que está circulando la corriente, el campo magnético inducido es invariable y por tanto no se inducen corrientes en el medio circundante. En el momento en que el pulso de corriente pasa bruscamente a cero la rápida variación del campo magnético induce una corriente en el medio circundante de acuerdo con la Ley de Faraday. A su vez estas corrientes variables, durante el intervalo en que la intensidad es cero en el bucle emisor, son la única causa del campo magnético secundario (Fig. 2). Se hace a continuación un breve resumen del comportamiento de estas corrientes de difusión, también conocidas como corrientes de Eddy.

En el instante inicial después de que la corriente en el transmisor pasa a cero, la intensidad de las corrientes de eddy es máxima en la zona del suelo próxima a superficie bajo el bucle emisor. Consecuentemente la f.e.m. -parámetro medido en el método- en la bobina receptora dependerá fundamentalmente de la resistividad del terreno en esa zona próxima a superficie y por tanto la profundidad de investigación es muy reducida. Con el incremento del tiempo el comportamiento de las corrientes de eddy puede describirse mediante ecuaciones de difusión.

De una forma simplificada la Fig. 3 ilustra el comportamiento de la distribución de la máxima intensidad como una función del tiempo. En ella puede apreciarse que a tiempos crecientes el máximo de intensidad se reduce en su valor absoluto y se produce a profundidades ca



a) Corriente en el transmisor (dipolo o bucle)

b) f.e.m. inducida por la corriente I.

c) Campo magnético secundario originado por las corrientes de difusión

A) Tiempo de establecimiento de la corriente
 B) Tiempo de corte

Toma de datos en un número variable de ventanas

FIGURA 2.- ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL FUNDAMENTO DEL METODO EM DE DOMINIO DE TIEMPOS.

da vez mayores. En consecuencia la f.e.m. debida a la - variación de estas corrientes y medida en el receptor, - reflejará a tiempos crecientes el efecto de las capas más profundas. Dicho en otros términos, la profundidad de - investigación se incrementa en función del tiempo.

Estudios de detalle demuestran que con el in- cremento del tiempo la mayoría de las corrientes de eddy en un medio estratificado se concentran en el basamento y el campo magnético inducido corresponde al campo de un semiespacio con una resistividad igual a la del basamen- to. En el límite -late time- todas las capas situadas so- bre el basamento actúan como si fueran transparentes. Por todo ello midiendo la respuesta del transitorio electro- magnético como una función del tiempo se puede obtener in- formación respecto a las propiedades eléctricas de la sec- ción geológica involucrada.

3.2. RESISTIVIDAD APARENTE - CURVAS DE RESISTIVIDAD APA- RENTE.

Análogamente a lo que sucede en la exploración convencional mediante SEV o sondeos Magnetotelúricos, la interpretación de los datos se simplifica por la introdu- ción del concepto de resistividad aparente. En lugar de operar con el comportamiento transitorio de la f.e.m. los datos se transforman a resistividades aparentes.

Existen diversas formas de definición de resis- tividad aparente en sondeos EMDT. Para la mayoría de las aplicaciones se emplea la ecuación simple:

$$\rho_a = \left[\frac{\dot{B}_{z1.s}^{un}(t)}{\dot{B}_z(t)} \right]^{2/3} \quad (A)$$

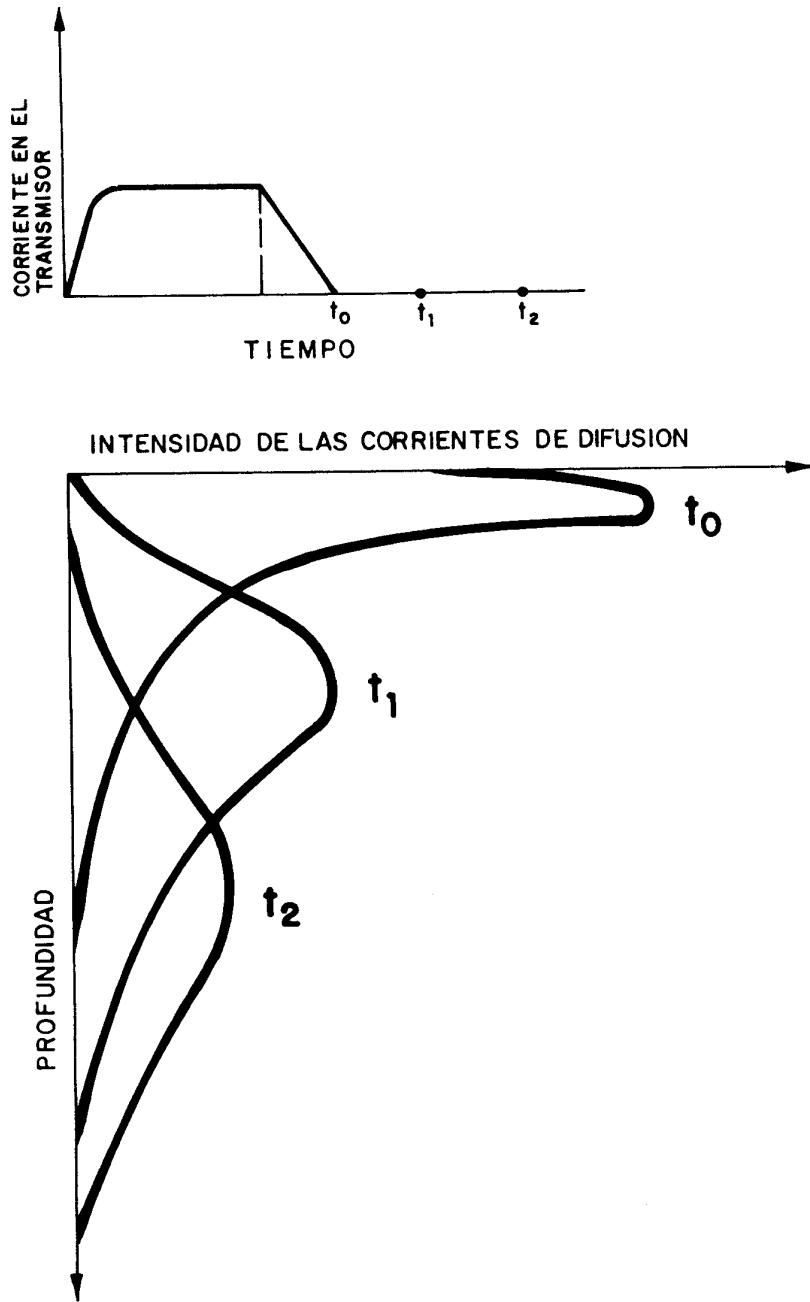


FIGURA 3.- COMPORTAMIENTO DE LAS CORRIENTES DE DIFUSION EN FUNCION DEL TIEMPO.

en la que:

ρ_a : resistividad aparente al tiempo t .

$\dot{B}_{z1.s}^{un}$: derivada respecto al tiempo de la componente vertical del campo magnético sobre un semiespacio uniforme en la zona lejana de la curva transitoria -- (late stage).

\dot{B}_z : derivada respecto al tiempo de la componente vertical del campo magnético medido al tiempo t .

A su vez:

$$\dot{B}_{z1.s}^{un}(t) = \frac{\mu^{5/2} M}{20\pi^{3/2} t^{5/2} \rho^{3/2}} \quad (B)$$

donde.

μ : susceptibilidad magnética

M : momento magnético en el transmisor

t : tiempo

ρ : resistividad del semiespacio.

Las curvas de resistividad aparente, análogas a las clásicas de SEV, se obtienen llevando en ordenadas ρ_a y en abscisas una función de t que puede ser, según los diversos sistemas vigentes, $\sqrt{2\pi t}$, t , ó τ/h , (τ, r para semiespacio uniforme). En estas últimas expresiones:

$$\tau_1 = \sqrt{2\pi\rho_1 10^{-7}}$$

siendo,

h_1 - espesor de la primera capa

r - radio del bucle emisor.

El parámetro τ_1 juega en los SEDT, un -- papel similar al de la profundidad skin del dominio de -- frecuencias.

3.3. MEDIO UNIFORME.

El comportamiento de las curvas de resistividad aparente puede sintetizarse en los puntos siguientes:

a) Con el incremento de t la resistividad aparente tiende a aproximarse gradualmente a la resistividad del semiespacio. Por ejemplo cuando $\tau_1/r > 10$ la resistividad aparente a efectos prácticos se iguala a ρ_1

b) Para tiempos decrecientes, muy próximos al de corte de corriente en el transmisor, $\tau_1/r < 10$, la resistividad aparente crece de forma irreal. Ello se debe a que el comportamiento del campo no ha alcanzado el "late stage" mientras que la definición de resistividad aparente se base o se ha establecido asumiendo que nos encontramos sobre esa zona de la curva transitoria.

Muy a menudo para medidas en el centro del bucle emisor y para dimensiones de éste de algunos cientos de metros, el comportamiento de la zona "early stage" es observable unicamente en unas pocas ventanas de tiempo. -- Por ejemplo un bucle de 200 x 200 m sobre un medio uniforme de 100 ohm.m produce un valor $\tau_1/r = 10$ a $t = 0,16$ ms. Este tiempo viene a cubrir los tres primeros canales de -- un equipo EM-37 o los cuatro primeros de SIROTEM. Para --

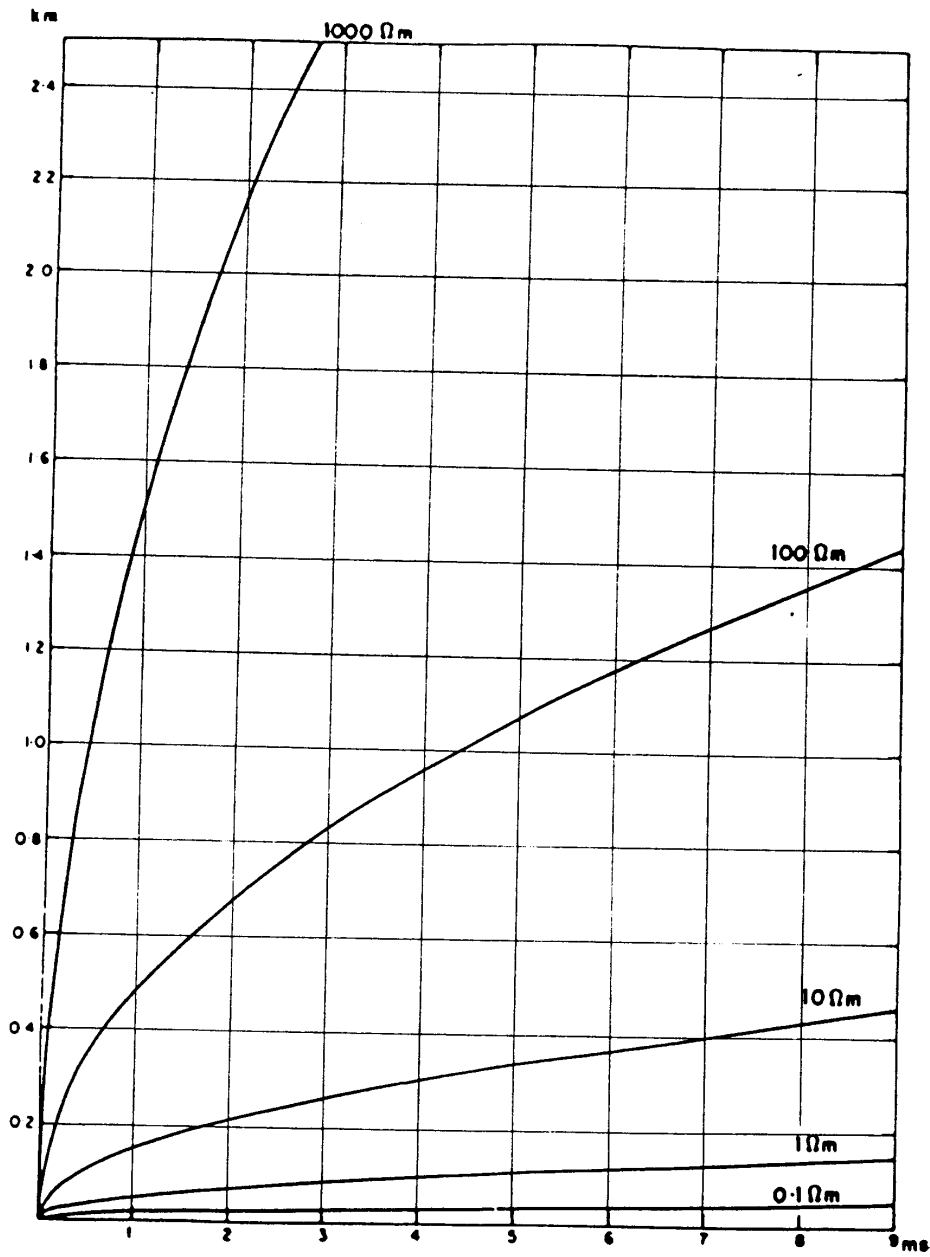


FIGURA 4.- POSICION DEL MAXIMO DE CORRIENTE DE DIFUSION EN UN SEMIESPACIO HOMogeneo EN FUNCION DE SU RESISTIVIDAD.

el caso de basamento conductos, $\rho_2/\rho_1 < 1$ existe un -

un bucle de 100 x 100 m la primera ventana de lectura en ambos sistemas ya corresponde al "late stage".

Como regla general cuanto mayores sean las dimensiones del bucle emisor y más conductivo el medio rocoso más tarde se inicia el "late stage".

Es interesante hacer un inciso respecto a la capacidad de penetración de este método y para ello nos referimos a la figura 4. Efectivamente la posición en profundidad del máximo de corriente viene condicionada para un tiempo dado, por la resistividad del medio. De tal figura se aprecia como en medios resistivos la capacidad penetrativa crece enormemente o dicho en otros términos que una misma ventana de tiempo permite obtener información de un rango de profundidades tanto mayor cuanto más alta sea la resistividad del medio rocoso.

3.4. MEDIOS ESTRATIFICADOS.

Baste el análisis del caso de dos capas considerando las dos posibilidades $\rho_2/\rho_1 > 1$ y $\rho_2/\rho_1 < 1$ que corresponden respectivamente a tipos de curvas similares a los que se incluyen en las figuras 5 y 6.

Consecuencias a deducir de tales curvas:

a) A tiempos creciente ρ_a tiende a la resistividad del basamento. En el rango del "early stage" todas las curvas confluyen sobre una curva que refleja el comportamiento de un medio homogéneo de resistividad igual a ρ_1

b) Para tiempos intermedios la resistividad aparente de la curva está definida por la conductancia de la capa superior, en los casos en que $\rho_2/\rho_1 \gg 1$. En el caso de basamento conductos, $\rho_2/\rho_1 < 1$ existe un -

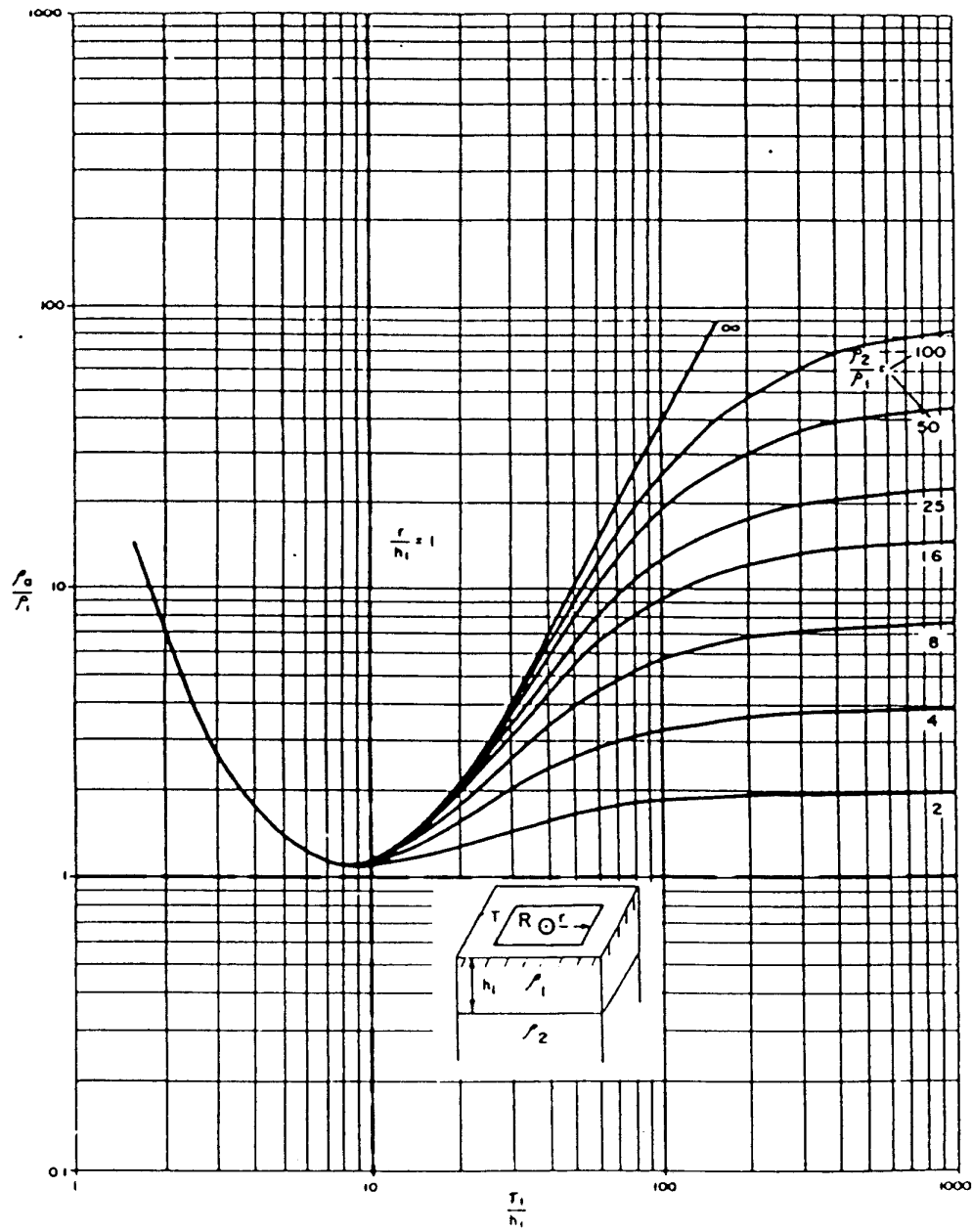


FIGURA 5.- CURVAS DE SEDT DE DOS CAPAS PARA BASAMENTO RESISTIVO.

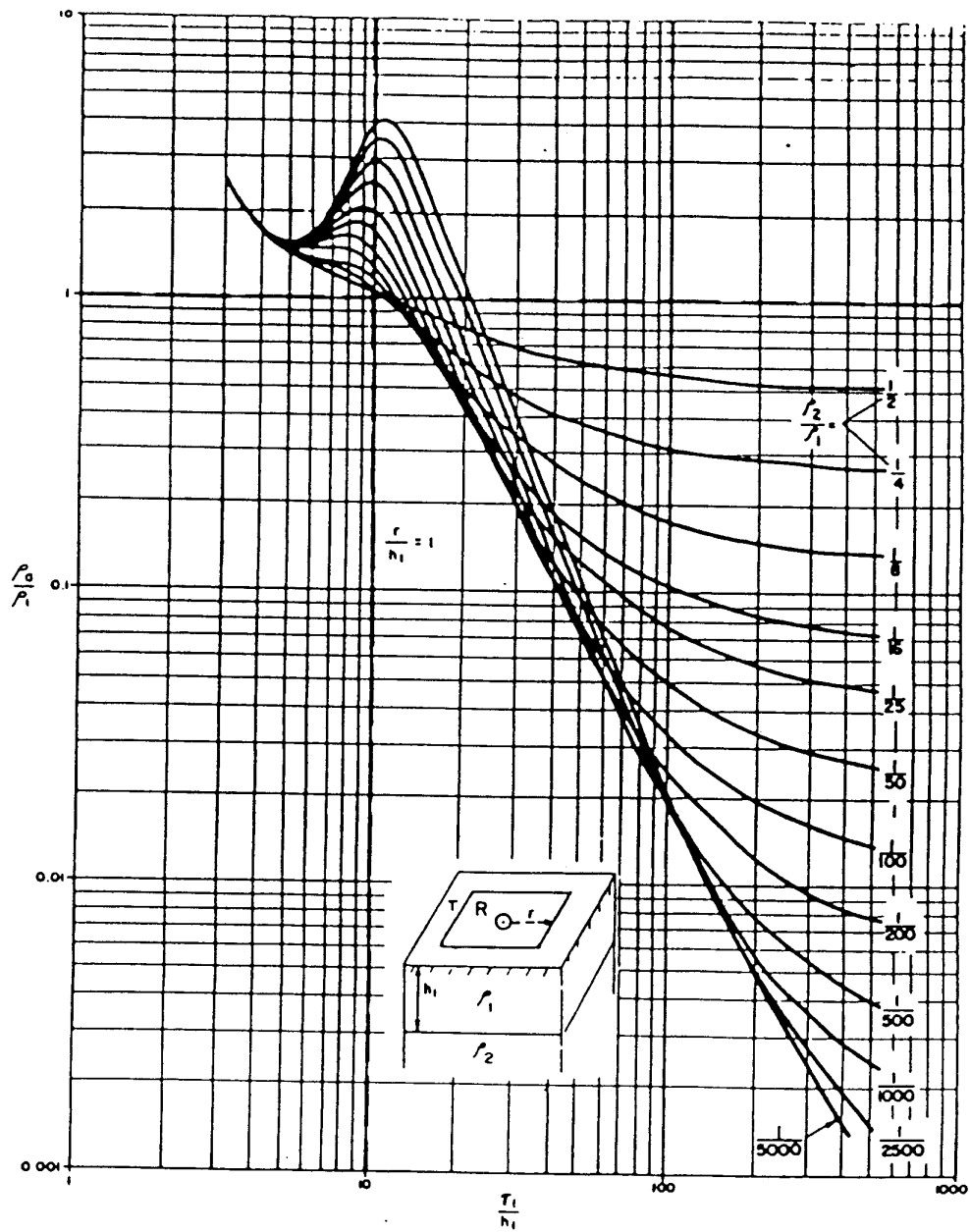


FIGURA 6.- CURVAS DE SEDT DE DOS CAPAS PARA BASAMENTO CONDUCTOR.

rango de tiempo en el que la respuesta viene definida principalmente por el espesor de la capa superior.

Ambos casos ilustran sin embargo la idea de que las curvas obtenidas con este método, vienen influenciadas por los parámetros de la sección geoelectrica con independencia de la separación transmisor-receptor.

A diferencia del método de SEV para el que existen publicadas varias colecciones de curvas patrón para diverso número de capas, en el caso de los SEDT la multiplicidad de modelos posibles junto con las diversas configuraciones (y dimensiones) para transmisor y receptor hacen -- inoperativo el intento de elaboración de colecciones de -- curvas teóricas; salvo a nivel orientativo para permitir -- juzgar a priori las posibilidades resolutivas del sistema en una aplicación determinada.

A nivel práctico el camino seguido en la interpretación de SEDT para un medio de n capas es el cálculo de curvas correspondientes a posibles variaciones sobre el modelo geológico más realista, complementando el proceso mediante la inversión de los datos de campo.

La comparación de curvas teóricas y curva de -- campo puede establecerse en etapas sucesivas hasta lograr el mejor grado de ajuste en cuyo momento puede darse por aceptable la interpretación correspondiente. En próximos capítulos se volverá sobre este tema.

3.5. VENTAJAS DE LOS SONDEOS ELECTROMAGNETICOS DE DOMINIO DE TIEMPOS SOBRE OTROS METODOS ELECTRICOS.

A nivel general y en base a la experiencia reseñada en la bibliografía de los últimos años se pueden enumerar las siguientes ventajas de los SEMT sobre otros sis-

temas, especialmente el de SEV.

a) Las medidas se realizan en ausencia de campo primario. Recordamos que el principal problema de los sondeos electromagnéticos en el dominio de frecuencias, especialmente en el rango de las bajas frecuencias -mayor profundidad de investigación- es la adecuada compensación del campo primario.

b) En los SEDT la profundidad de investigación está definida por el tiempo y los parámetros geoelectricos de la sección y no depende de la separación entre emisor y receptor. Por este hecho se pueden realizar sondeos con un dispositivo cuyas dimensiones sean del orden de la profundidad a investigar. Esta es una diferencia importante respecto a los métodos de corriente continua y los electromagnéticos de dominio de frecuencias. En ambos casos la separación transmisor-receptor debe ser usualmente varias veces mayor que la profundidad a investigar. Consecuentemente los SEDT tienen una mayor capacidad de resolución lateral.

c) El campo magnético medido en el método de dominio de tiempos en un cierto rango de tiempo es más sensitivo a los cambios de las propiedades eléctricas de la sección que los otros métodos. En particular si el basamento es muy resistivo se demuestra que la componente vertical del campo magnético en el "late stage" es proporcional a S^3 .

$$\text{Siendo : } S = H/\rho_1$$

H = espesor de la sección hasta el basamento resistivo.

ρ_1 = resistividad longitudinal de la sección situada por encima del basamento.

Como idea comparativa, en sondeos eléctricos con dispositivo Schlumberger o en el método magnetotelúrico, el parámetro medido en ciertos rangos de espaciado entre electrodos o de frecuencia según el caso; es dependiente exclusivamente de $1/S$. Por tanto un mismo incremento de conductancia provoca cambios mucho más importantes en las medidas del método de dominio de tiempos que en los otros métodos. En consecuencia los sondeos electromagnéticos de dominio de tiempos tienen la capacidad de resolver estructuras de pequeñas dimensiones en presencia de basamentos resistivos.

d) Pese a que la experiencia actual no es muy extensa, el cálculo de curvas teóricas para diverso número de capas y los casos prácticos que van apareciendo en la bibliografía específica del tema indican que en los sondeos electromagnéticos de dominio de tiempos el principio de -- equivalencia se manifiesta dentro de un rango de variación de los parámetros del corte geoelectrico, sensiblemente más estrecho que el que suele darse en otros métodos de sondeos eléctricos. Este hecho tiene especial importancia porque -- posibilita la resolución de modelos geoelectricos que pueden ser muy similares, reduciendo el grado de indeterminación -- que conllevan los SEV por ejemplo.

Podrían citarse además otras ventajas de tipo operativo dada la sencillez de tendido del bucle emisor -- respecto a la apertura de SEV de grandes dimensiones o la mayor fiabilidad de la señal al operar por stacking pero -- creemos que en los puntos anteriores quedan señalados los aspectos fundamentales a tener en consideración.

3.6. INTERPRETACION DE SONDEOS ELECTROMAGNETICOS DE DOMINIO DE TIEMPOS.

En cierto modo existe un desfase entre las po

sibilidades matemáticas de cálculo de curvas correspondientes a un número variable de capas y la capacidad instrumental para resolver este tipo de situaciones, dentro de los rangos de tiempo en que se mide con los equipos disponibles en nuestros días.

Los programas más completos de que puede disponerse actualmente se limitan a un máximo de 10 capas mientras que las aplicaciones reales raramente resuelven más allá de cuatro o cinco capas. Ello no representa ninguna limitación sustancial ya que en la mayoría de los estudios no se involucran situaciones geológicas en que intervengan más capas.

Existen dos modalidades básicas de ejecución de sondeos Electromagnéticos de Dominio de Tiempos (SEDT):

- Con bucle coincidente. El bucle emisor actúa también como bucle receptor. En la literatura anglosajona coincident loop.
- Con bobina receptora en el centro del bucle emisor. Se trata de una bobina de elevado número de espiras y su mayor utilidad es la reducción del nivel de ruido en el circuito receptor. En las referencias bibliográficas se conoce como in-loop ó central loop.

Para cada una de estas modalidades se puede resolver el problema directo e inverso de la interpretación en función de las dimensiones del bucle emisor que se emplee en cada caso.

Excepto para el caso de utilizar como emisor un dipolo conectado al suelo, sistema usado para investigación a gran profundidad, los métodos de cálculo universalmente

aceptados fueron desarrollados en 1982 por Walter Anderson y quedan recogidos en las cuatro publicaciones que se indican a continuación:

- Transient soundings for central induction loop, forward-solutions for layered models.
- Transient soundings for coincident loop system, forward solutions for layered models.
- Inversion of transient soundings using central induction loop system for layered models.
- Inversion of transient soundings using a coincident loop system for layered models.

Estos programas permiten la resolución directa o inversa en cada caso en unos rangos de tiempo que sobrepasan por ambos extremos los límites en que se sitúan las ventanas de lectura de los equipos convencionales.

Para los problemas directos se establece el modelo geoelectrico en términos de número de capas, conductividad y espesor de cada una de ellas así como tamaño del bucle emisor a emplear. El resultado es una relación de valores de resistividad aparente en función del tiempo, que se representa sobre impresos bilogarithmicos análogos a los de SEV.

Cuando se trata de realizar la inversión de datos de campo la modalidad más común consiste en fijar a priori el número de capas y realizar ajustes posteriores en los espesores y resistividades de aquellas que convengan hasta la obtención de la mejor correspondencia con la curva de campo. Evidentemente el conocimiento geológico -

Estación X

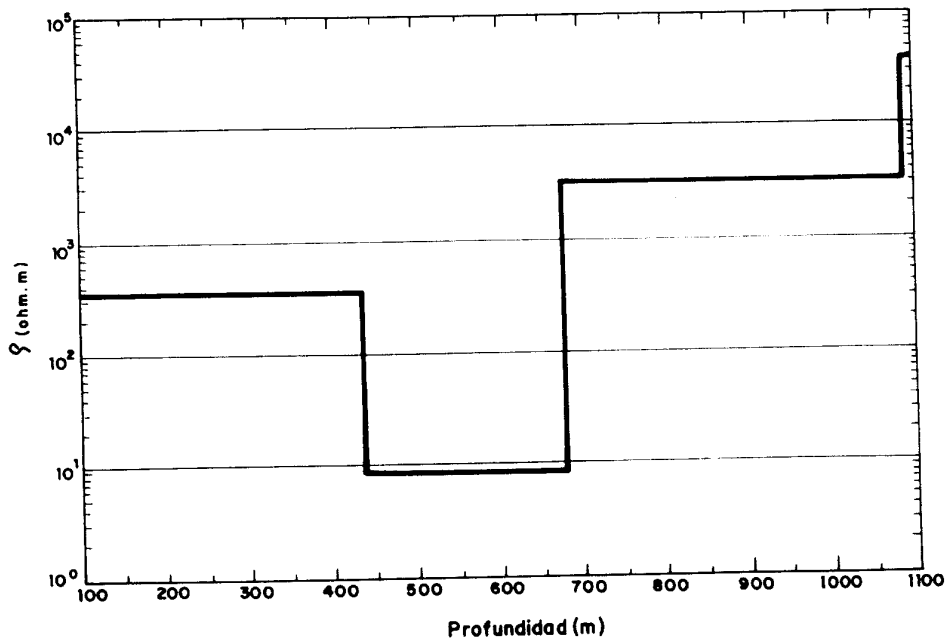
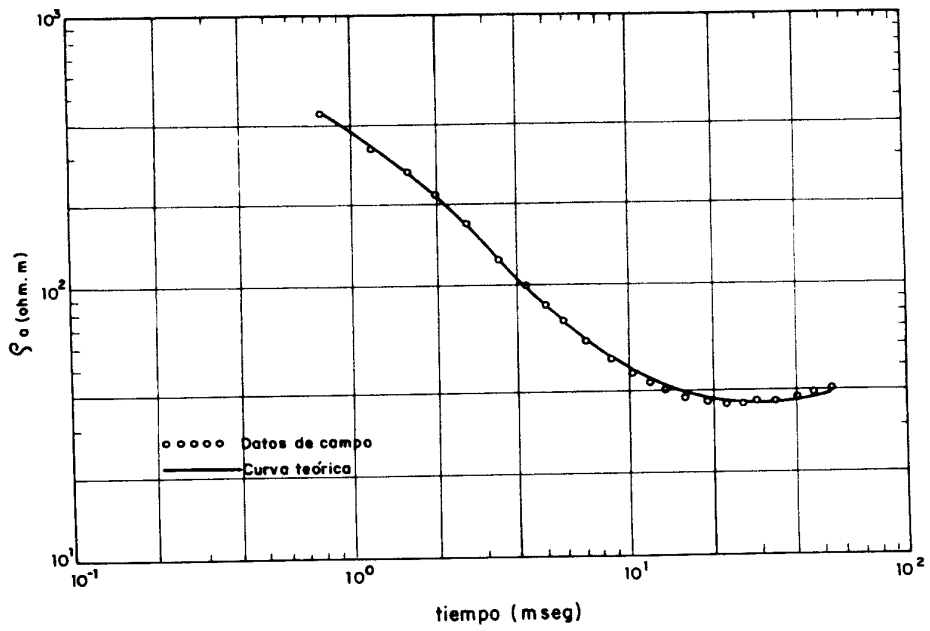


FIGURA 7.- EJEMPLO DE INTERPRETACION DE SEDT.

disponible sobre la zona de estudio puede ayudar claramente a restringir el proceso interpretativo a aquellas operaciones que sean más verosímiles. Obviamente las operaciones requieren el empleo de ordenadores potentes equipados con sistemas gráficos adecuados para la ejecución del proceso de una forma conversacional. En la figura 7 se representa un ejemplo del Producto final de este proceso.

4. MODELOS GEOLOGICOS CONSIDERADOS



4. MODELOS GEOLOGICOS CONSIDERADOS.

4.1. CUENCAS EVAPORITICAS DEL LEVANTE ESPAÑOL.

El modelo en todas ellas es similar pero se ha tomado como ejemplo la de Lorca únicamente en base al hecho de que sobre ella se han realizado recientemente diversos estudios que incluyen sondeos de reconocimiento. Se puede establecer un modelo general de la cuenca en la forma representada sobre la figura 8 que comentamos sucintamente.

En ella el objetivo a resolver lo constituye -- la formación evaporítica formada por margas yesíferas -- que pasan a halita hacia el centro de la cuenca. Es factible en este conjunto la existencia de engrosamientos, -- sin entrar en su posible origen, lo que constituye una de las variables de los modelos geoeléctricos establecidos. Las otras modificaciones al modelo básico vienen impuestas por cambios de espesor de la cobertera margosa y por la presencia y potencia de los niveles de conglomerados -- que afloran en ciertas zonas de la cuenca.

Sobre la figura número 8 hemos señalado la posibilidad de lo que puede considerarse como los modelos -- geoelectricos más representativos. Para cada uno de ellos se han establecido diversos submodelos haciendo intervenir variaciones en los espesores y resistividades de las capas involucradas. Los resultados obtenidos son los incluidos en el Anexo I que contiene las curvas teóricas con las -- que se cubre la mayoría de los modelos geoeléctricos correspondientes a la cuenca de Lorca.

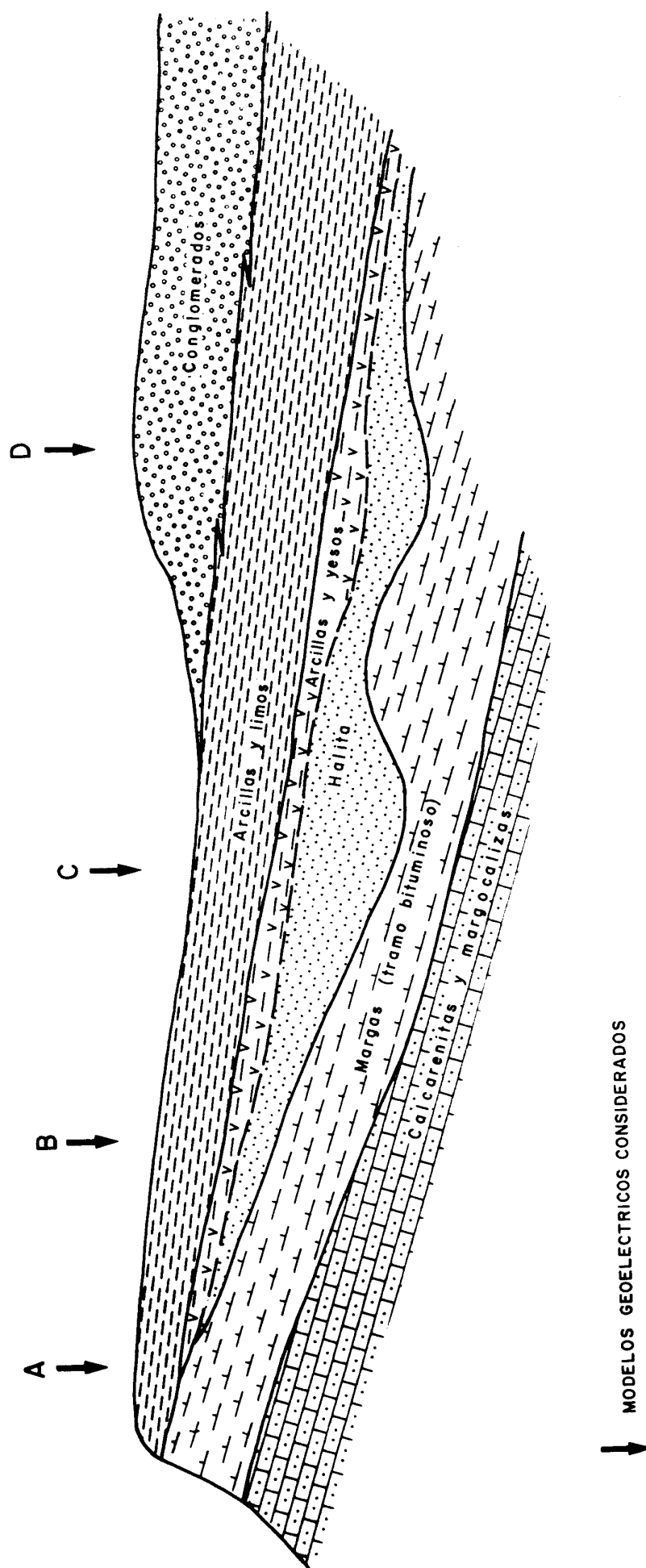


FIGURA 8.- ESQUEMA GENERAL DE LA CUENCA DE LORCA EN EL SECTOR DEL ENSAYO GEOFISICO.

4.2. DEPRESION DE OLOT.

El modelo geoelectrico corresponde a una depresion limitada por dos grandes fracturas de rumbo aproximado N-S. La secuencia sedimentaria de la depresion es conocida a traves de sondeos petroleros situados fuera de ella y se halla distorsionada por la presencia de coladas basálticas y aparatos volcánicos recientes.

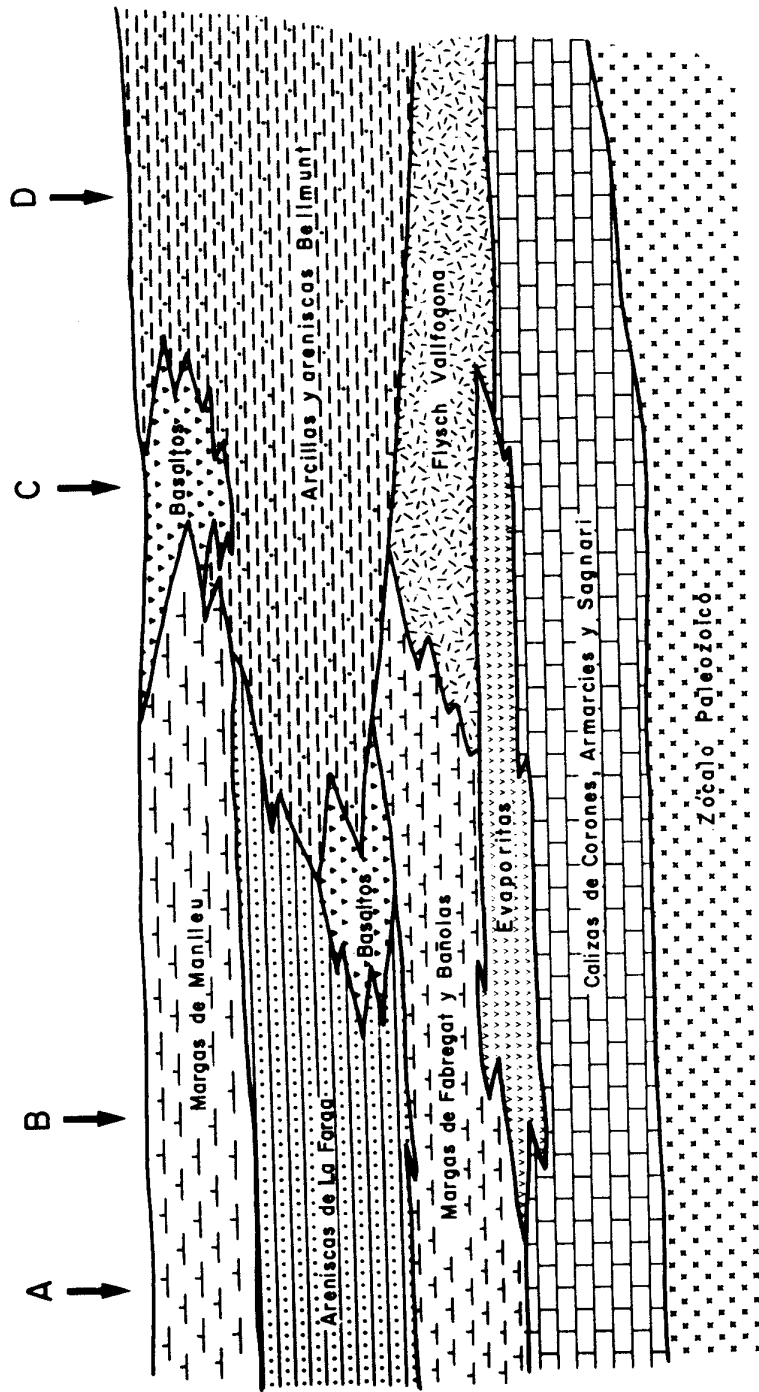
El interés principal en esta zona radica en la posibilidad de existencia de acuíferos profundos con interés geotérmico. Para su estudio existen diversas interferencias respecto a los métodos geofísicos convencionales. Estas interfencias se centran especialmente en las coladas basálticas y en los tramos evaporíticos que representan notables discontinuidades laterales en la distribución de propiedades físicas del medio.

Como puede apreciarse en la Figura 9 el modelo geológico es realmente complejo por la multiplicidad de capas que involucra o puede involucrar. Por ello las curvas teóricas se han calculado haciendo intervenir o no cada uno de los elementos litológicos más representativos y variando en el primero de los casos sus parámetros definitorios: espesor y resistividad.

Para esta zona se han calculado diversos modelos teóricos cuyas curvas correspondientes se incluyen en el Anexo 2.

4.3. ZONAS DE COMPLEJIDAD TECTONICA O ESTRUCTURAL.

Lo más característico en ellas es la existen-cia de notables contrastes laterales de resistividad en zonas relativamente reducidas, en lo que a su extensión -



↓ MODELOS GEOELECTRICOS CONSIDERADOS

FIGURA 9.- ESQUEMA GEOLOGICO DE LA DEPRESION DE OLOT.

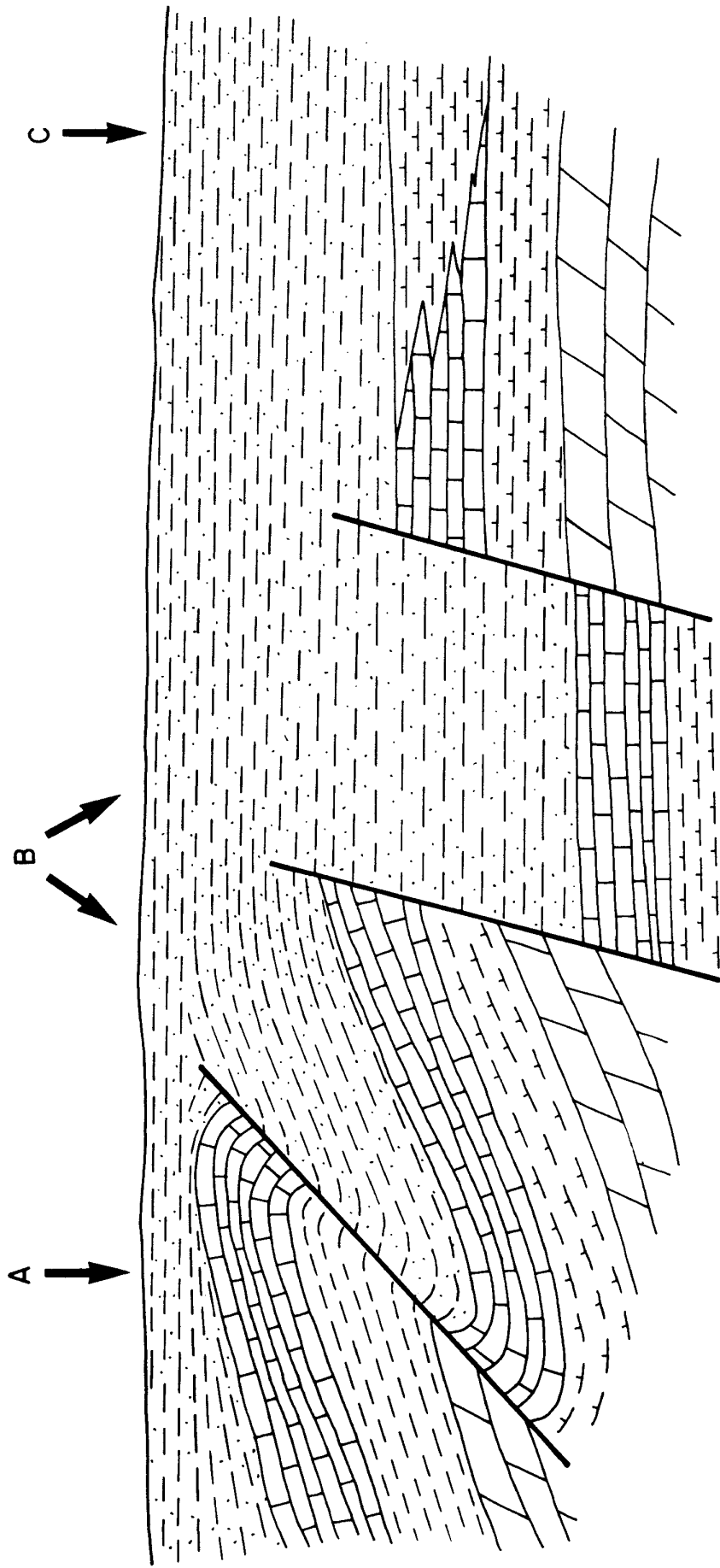
se refiere. El hecho de que el método de SEDT proporcione una respuesta muy localizada resulta atrayente en el sentido de que se puedan realizar medidas relativamente próximas a accidentes tipo falla sin que los efectos laterales sean singnificativos. Dentro de este mismo grupo pueden encuadrarse tambien los cambios de facies que se resuelven con poca fiabilidad mediante SEV por el gran volumen rocoso involucrado en sus determinaciones pese a que los resultados se atribuyen puntualmente.

No nos vamos a referir a ningún caso concreto - respecto de estos modelos sino que nos vamos a limitar al enunciado de un caso de tipo general que representamos en la Figura nº 10 y que puede ser asimilable a multitud de situaciones que se presentan en estudios aplicados a hidrogeología, rocas industriales, etc. Las curvas teóricas - obtenidas para este caso se incluyen en el Anexo 3.

Para el cálculo de los modelos correspondientes a estos casos hemos adoptado como valores de resistividad los standard tomados de la bibliografía para calizas, margas, yesos-sales, areniscas, materiales paleozoicos, etc., ya que de ninguno de los casos considerados disponemos de registros geofísicos fiables. El error que este hecho pueda introducir puede estimarse de poca influencia ya que en ninguno de los casos se va a considerar un valor único de resistividad para cada uno de los elementos litológicos involucrados.

4.4. COMENTARIOS A LAS CURVAS TEORICAS OBTENIDAS.

Estas curvas se han agrupado en los Anexos 1, 2 y 3. Sobre cada una de ellas se indica el modelo geoelectrico correspondiente con expresión de los espesores y resistividades de cada capa involucrada. Los valores de resistividad asumidos en cada caso se han tomado de publicaciones standard.



MODELOS GEOELECTRICOS CONSIDERADOS
 ↓

FIGURA 10.- ESQUEMA GEOLOGICO DE UNA ZONA COMPLEJA DESDE EL PUNTO DE VISTA ESTRUCTURAL.

No tiene objeto realizar aquí un análisis comparativo, en cada caso, de la incidencia que la variación del espesor o la resistividad de una determinada capa tiene en la forma y valores de la curva de SEDT correspondiente. Entendemos que este proceso puede ser realizado fácilmente por cualquier persona interesada en aspectos concretos de cada situación.

4.4.1. SEDT correspondientes a los sondeos nº 4 y 5 de -- Lorca.

Vale la pena hacer algunas consideraciones respecto a los resultados obtenidos en estos casos ya que se conoce con precisión el espesor de las diferentes formaciones atravesadas y ello permite estudiar la influencia de -- las resistividades.

La Figura 11 incluye cuatro modelos diferentes correspondientes al sondeo nº 4. En primer lugar se aprecia como la influencia de la capa superficial, muy conductora, es muy notable en el tramo inicial de la curva A. Incluso en las curvas C y D es evidente que se ha estimado -- una resistividad excesivamente baja para esta capa como de muestra la comparación con la curva real obtenida en campo. Respecto a la resistividad estimada para la capa de halita parece que 100 ohm.m es excesiva ya que curva B refleja un aspecto general claramente discrepante con la real, medida. El valor más realista debe oscilar entre 30-60 ohm.m.

También parece evidente de la comparación de -- las curvas que la resistividad de la formación arcillosa -- localizada a muro de la sal ha de ser inferior a los 5 ohm.m estimados y complementariamente de un espesor superior a -- los 300 m de los modelos C y D. Ello basados en que la resistividad del sustrato margocalizo sea del orden del va-- lor estimado de 30 ohm.m lo que parece aceptable, en fun-



UNA COMPAÑIA DEL GRUPO CEPISA

PROYECTO

FECHA

PERFIL N°

SONDEO E. M. DE DOMINIO DE TIEMPO

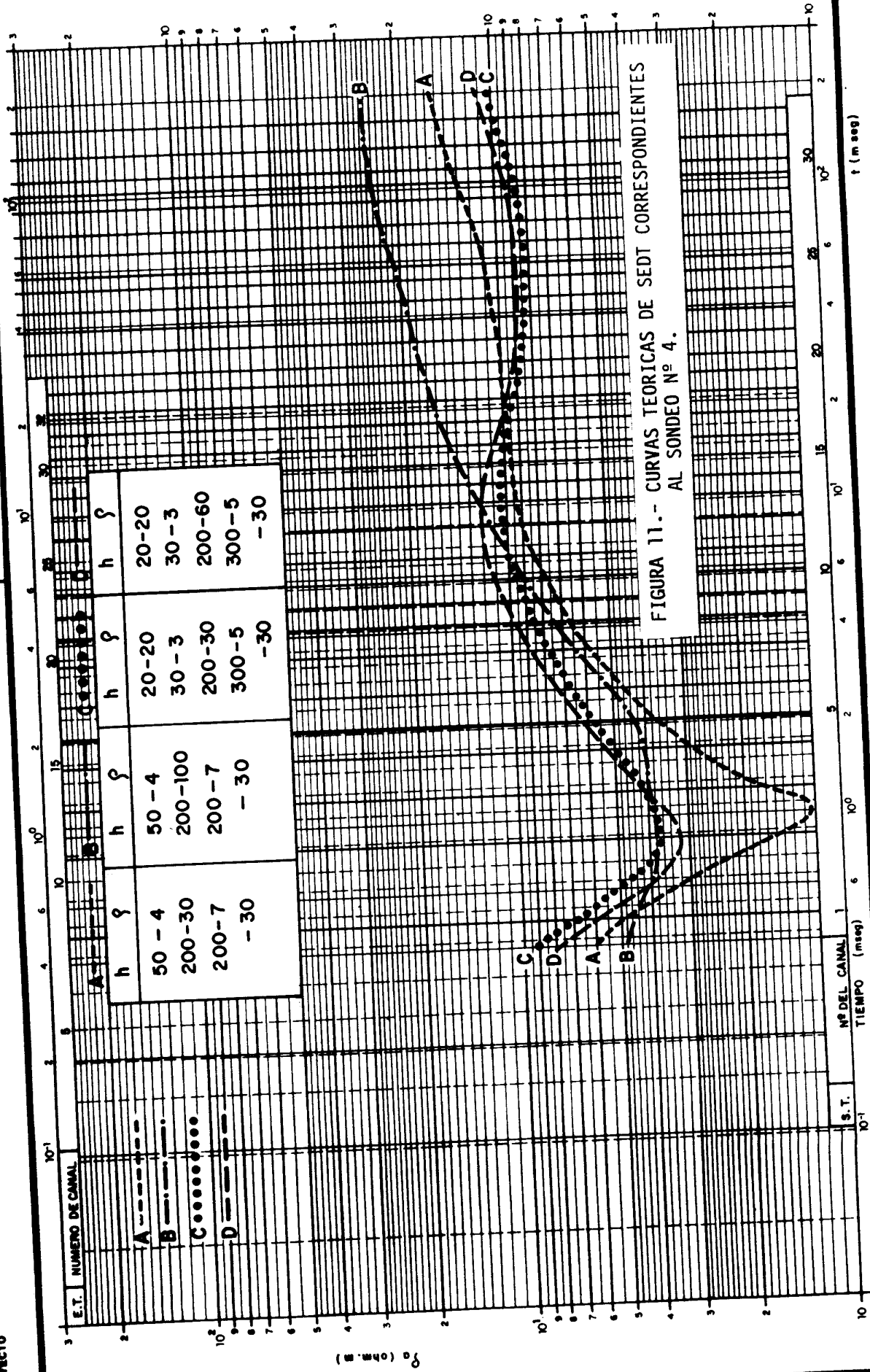
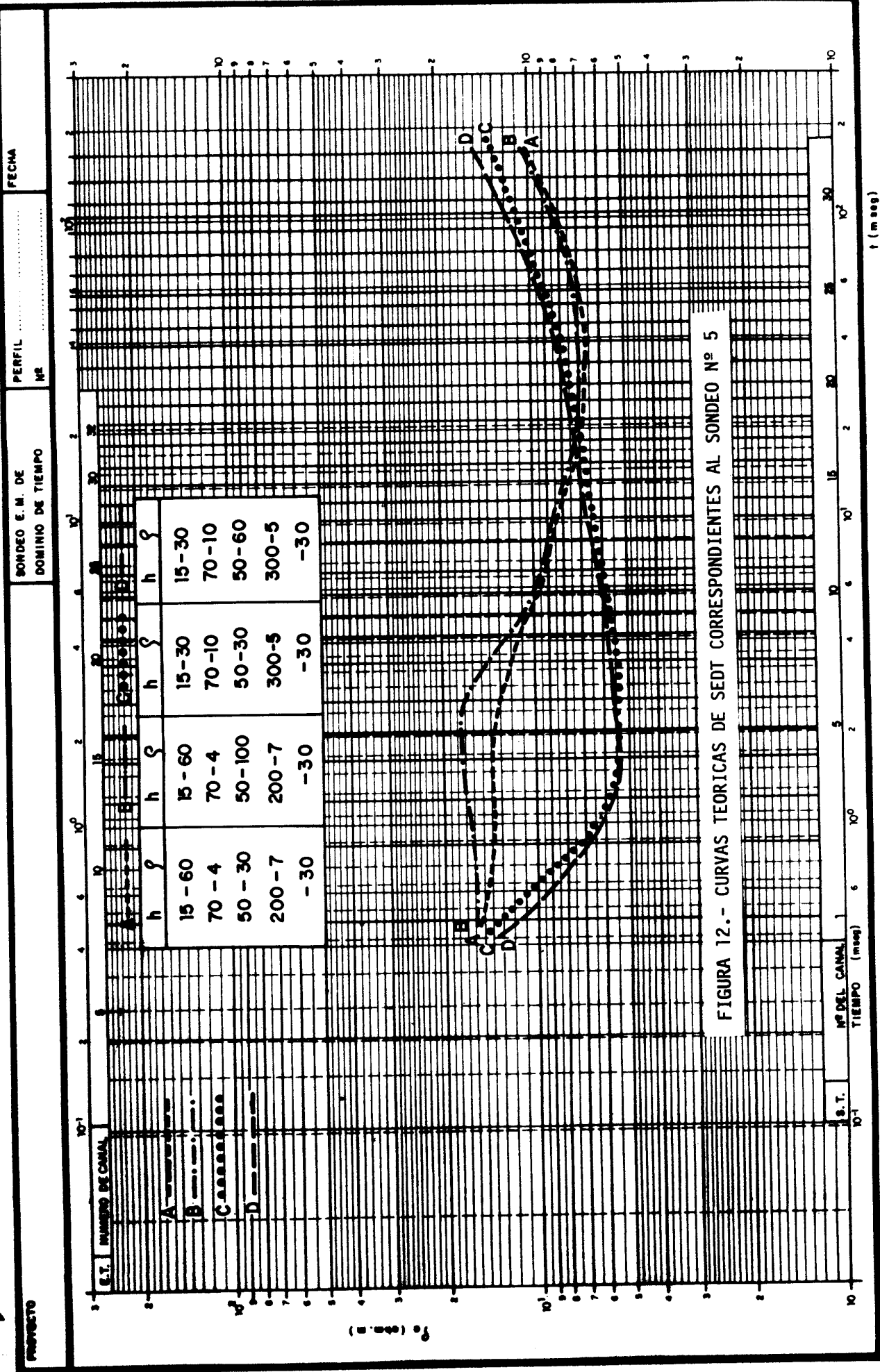


FIGURA 11.- CURVAS TEORICAS DE SEDT CORRESPONDIENTES AL SONDEO N° 4.

Nº DEL CANAL
TIEMPO (mseg)

S. T.



ción de la forma del tramo final de las curvas.

Respecto a los modelos correspondientes al sondeo nº 5 también puede apreciarse en ellos la notable influencia que la resistividad de las primeras decenas de metros ejerce sobre la forma de los tramos más superficiales de la curva de SEDT. Por otra parte hay que destacar como la poca profundidad a que se sitúa la halita hace que su manifestación se produzca en los primeros canales de lectura y que tal manifestación tenga una clara dependencia con la resistividad estimada para esta capa.

Si se incrementa la resistividad de la segunda capa las curvas teóricas son más parecidas a la de campo. La discrepancia más notable entre ellas podría estar en el tramo inmediatamente anterior a la subida final correspondiente al basamento resistivo. Aparentemente la resistividad real de este tramo es inferior a la considerada en el cálculo de los modelos.

5. ENSAYOS DE CAMPO EN LA CUENCA DE LORCA

5. ENSAYOS DE CAMPO EN LA CUENCA DE LORCA.

El plan de trabajo seguido se ha estructurado de acuerdo con el siguiente programa:

a) Cálculo de curvas teóricas correspondientes a los sondeos mecánicos nº 4 y 5. Estas curvas se han calculado para dispositivos de bucle coincidente y receptor en el centro del bucle respectivamente. En ambos casos se han considerado dos posibles dimensiones del bucle emisor, 200 x 200 m y 100 x 100 m.

b) De acuerdo con los resultados obtenidos en la etapa anterior se realizó su reconocimiento general -- del área de ensayo mediante once SEDT utilizando el dispositivo de bucle coincidente de 200 x 200 m. Los SEDT se realizaron sobre los emplazamientos más representativos -- en base a los resultados de los sondeos mecánicos y de la prospección geofísica realizada en 1982. Sobre el plano nº 1 se indica la posición de los SEDT efectuados.

c) Ensayo sobre los sondeos mecánicos nº 4 y 5 del dispositivo con receptor en el centro del bucle y bucles coincidentes para diferentes dimensiones del bucle -- emisor.

La toma de datos en campo se realizó mediante el equipo SIROTEM II SE siendo sus características técnicas más destacables las siguientes, para esta aplicación:

- Intensidad en el bucle emisor ≈ 6 A

- Dos modalidades de operación: "Early Time" (ET) con 32 ventanas distribuidas entre 0,049 y 20,16 ms y -- "Standard time" (ST) también con 32 ventanas que cubren -- el rango desde 0,487 a 161,40 ms. La primera modalidad --

está orientada a la resolución de los niveles más superficiales, especialmente en ambientes conductores como es el caso presente.

- El sistema opera por "stacking" adoptando en cada canal el valor resultante de promediar un número de pulsos a seleccionar por el operador y que puede variar entre 256, 512, 1024 y 2048. Cuando al menos el 50% de los pulsos producen resultados incoherentes la lectura es rechazada por el microprocesador que el equipo lleva incorporado.

- Cada SEDT se ha medido en las dos modalidades: ET y ST y se ha repetido como mínimo dos veces tratando de obtener lecturas válidas en el mayor número posible de canales.

- La toma de datos se efectuó sobre soporte magnético a la vez que en campo se obtiene un registro mediante impresora. Este registro permite comprobar inmediatamente la calidad de los resultados y en consecuencia decidir modificaciones si proceden en el número de stacks, nivel de ganancia, límite de eliminación de esféricas, etc. Adjuntamos un registro correspondiente a uno de los SEDT realizados.

En él la primera fila es una cabecera donde se identifica fecha (28.9.85) modalidad de operación (50 corresponde a ST, si fuera 55 sería ET), y número de perfil y estación (03). Los dos últimos dígitos se reservan para identificación de tests realizados al inicio y final de cada jornada de trabajo. El resto de los datos que aparecen sobre el citado ejemplo se explican convenientemente en el mismo.

20 0005500000

A	B	C	D	W
1	0009	4	000	
2	4019	4	000	
3	1067	4	000	
4	1007	4	000	
5	6466	3	000	
6	3705	3	000	
7	2146	3	000	
8	1420	3	000	
9	1015	3	000	
10	7668	2	000	
11	5400	2	000	
12	3750	2	000	
13	2495	2	001	
14	1005	2	001	
15	1436	2	002	
16	1030	2	002	
17	6797	1	003	
18	4740	1	003	
19	3201	1	005	
20	2739	1	006	
21	1710	1	007	
22	1299	1	010	
23	7711	0	016	
24	6418	0	020	
25	5411	0	023	
26	2663	0	026	
27	2452	0	029	
28	0035	0	032	
29	0562	0	110	
30	0013	0	005	
31	0114	0	245-	
32	0100	0	156-	

A.- Nº de canal
 B.- Valor del transitorio (nV/A)
 C.- Exponente decimal
 D.- Error en la lectura

512 - Nº de stacks
 5.5 - Intensidad
 000 - Nº de pulsos rechazados

200 - Dimensión del bucle
 000

Resistividades en mohm.m	M O M
1	000019596
2	000011624
3	000009250
4	000008402
5	000008065
6	000007519
7	000007033
8	000006793
9	000006228
10	000006065
11	000005392
12	000005000
13	000004770
14	000004613
15	000004301
16	000004109
17	000003925
18	000003967
19	000003911
20	000003770
21	000003872
22	000003634
23	000003062
24	000003652
25	000003423
26	000004076
27	000003373
28	000005409
29	000005690
30	000003660
31	*****
32	*****

PROYECTO: _____ SONDEO E. M. DE DOMINIO DE TIEMPO: _____ PERFIL Nº 4 y 6 FECHA: _____

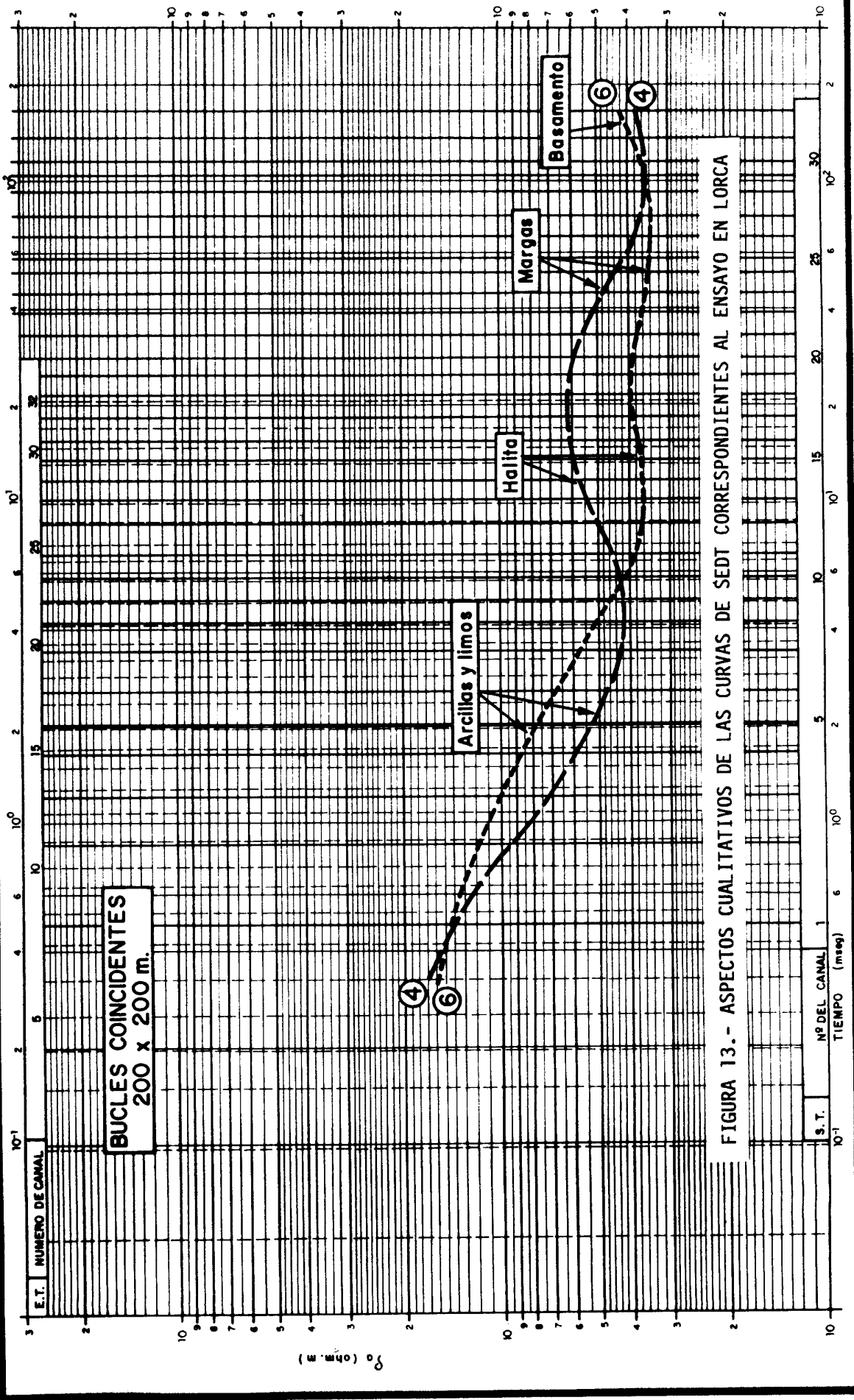


FIGURA 13.- ASPECTOS CUALITATIVOS DE LAS CURVAS DE SEDT CORRESPONDIENTES AL ENSAYO EN LORCA

5.1. ASPECTOS CUALITATIVOS DE LOS SEDT REALIZADOS.

Los valores de resistividad aparente se calculan automáticamente durante la toma de datos y se representan en impresos bilogarítmicos en función del tiempo. En general las curvas obtenidas presentan valores muy bajos de resistividad aparente como corresponde a una sección eminentemente conductora. Se inician con un tramo relativamente resistivo correspondiente a niveles detríticos superficiales; a continuación una bajada de resistividad indica la presencia de niveles de arcillas y limos. En determinadas curvas se aprecia después una subida de resistividad, más o menos acusada, que corresponde a la formación evaporítica y más concretamente a la capa de halita. Cuanto más limpia y más potente es esta formación más notable es su manifestación en las curvas de SEDT.

Por debajo se aprecia otro tramo conductor asociado a las margas bituminosas y margocalizas para iniciarse a continuación en algunas curvas una subida que debe corresponder a los materiales del sustrato de la cuenca.

A modo de ejemplo incluimos la Figura 13 que agrupa los SEDT nº 4 y 6 sobre las que se han señalado las características comentadas.

5.1.1. SEDT correspondientes a los sondeos mecánicos.

Nos referimos a los sondeos nº 4 y 5 realizados en el Proyecto "Ampliación de la investigación de pizarras bituminosas en la zona de Lorca (Murcia)". "Fase II". La columna litológica de cada uno de ellos se detalla a continuación:

SONDEO N° 4

0 - 40 m	- Arcillas, limolitas y areniscas.
40 - 63 m	- Yesos y arcillas intercaladas.
63 - 298 m	- Halita.
298 m	- Limolitas y margas.

SONDEO N° 5

0 - 44 m	- Arcillas, limos y areniscas.
44 - 112 m	- Yesos y arcillas intercalados
112- 161 m	- Halita.
161 m	- Limolitas y margas.

En el SEDT n° 4 es prácticamente imposible diferenciar entre arcillas con yesos y halita dado el pequeño espesor de las primeras. De todos modos la formación evaporítica se define con toda claridad entre los canales 10 y 20 (aprox. de 6 a 30 mseg.) flanqueada por los niveles arcillosos superficiales muy conductores y las margas de muro también conductoras. En los últimos canales (alrededor de 100 mseg) se inicia una subida de resistividad que debe corresponder al basamento situado a varios centenares de metros de profundidad.

A diferencia de éste, en el SEDT n° 5 no se -- aprecia la presencia de un tramo de alta resistividad en -- su zona intermedia debido al pequeño espesor de la capa de halita en relación al potente paquete de material conduc-- tor situado a muro de la misma. Sin embargo es evidente el efecto del conjunto de arcillas con yesos, y posiblemente -- la halita, que se manifiesta entre 1,5 y 10 mseg. En ausen-- cia de la capa de sal la resistividad aparente caería a va-- lores bajos de una forma más brusca a la que presenta la -- curva en el tramo entre 6 y 20 mseg. Por último hacemos no

tar la manifestación del basamento resistivo en el tramo final de la curva. Comparando ambas curvas es coherente el hecho de que tal basamento resistivo se manifiesta a menor profundidad el SEDT 5 que en el SEDT 4 ya que el primero de ellos se sitúa más próximo al borde de cuenca.

Los dos sondeos mecánicos de referencia constituyen los únicos puntos de control conocidos en la cuenca de cara al chequeo efectivo del método de SEDT. Los resultados obtenidos en ellos son válidos en un doble sentido: Por una parte alcanzan una profundidad suficiente para sobrepasar los objetivos planteados lo que indica que el dispositivo utilizado es correcto. En segundo término la respuesta obtenida en cada sondeo es coherente con las características del mismo y también la diferencia entre ambas curvas resulta explicable de acuerdo con la columna geológica de ambos sondeos.

5.1.1.1. Comparación con los SEV realizados sobre los sondeos mecánicos.

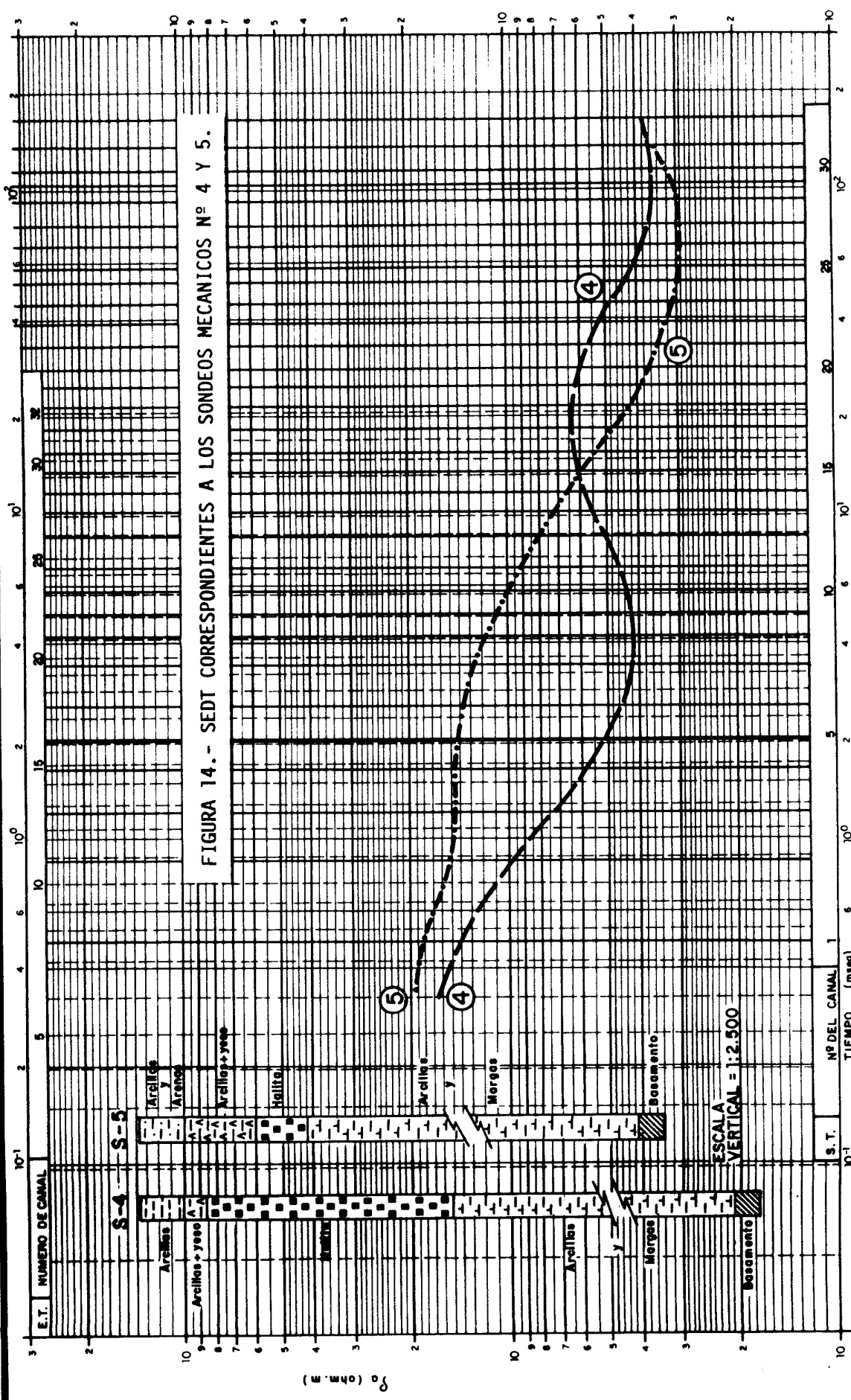
En el estudio llevado a cabo por CGS para el -- IGME en 1982 se realizó el SEV A-2 sobre el sondeo nº 5 y los C-3 y C-4 en el entorno del sondeo 4. Las curvas obtenidas son las representadas en la Figura 15. Estas curvas ofrecen similitudes destacables con las correspondientes a los SEDT comentados en el epígrafe anterior: La resistividad de los niveles más superficiales es mayor en el sondeo 5 que en el 4 lo que cabe atribuir a un mayor contenido de arenas y areniscas y su manifestación es evidente en ambos métodos. El tramo salino queda representado por una subida de resistividad aparente, más intensa en los SEV C-3 y C-4 como corresponde al mayor espesor de sal en el sondeo 4.

PROYECTO: _____

SONDEO E. M. DE DOMINIO DE TIEMPO: _____

PERFIL NR: _____

FECHA: _____



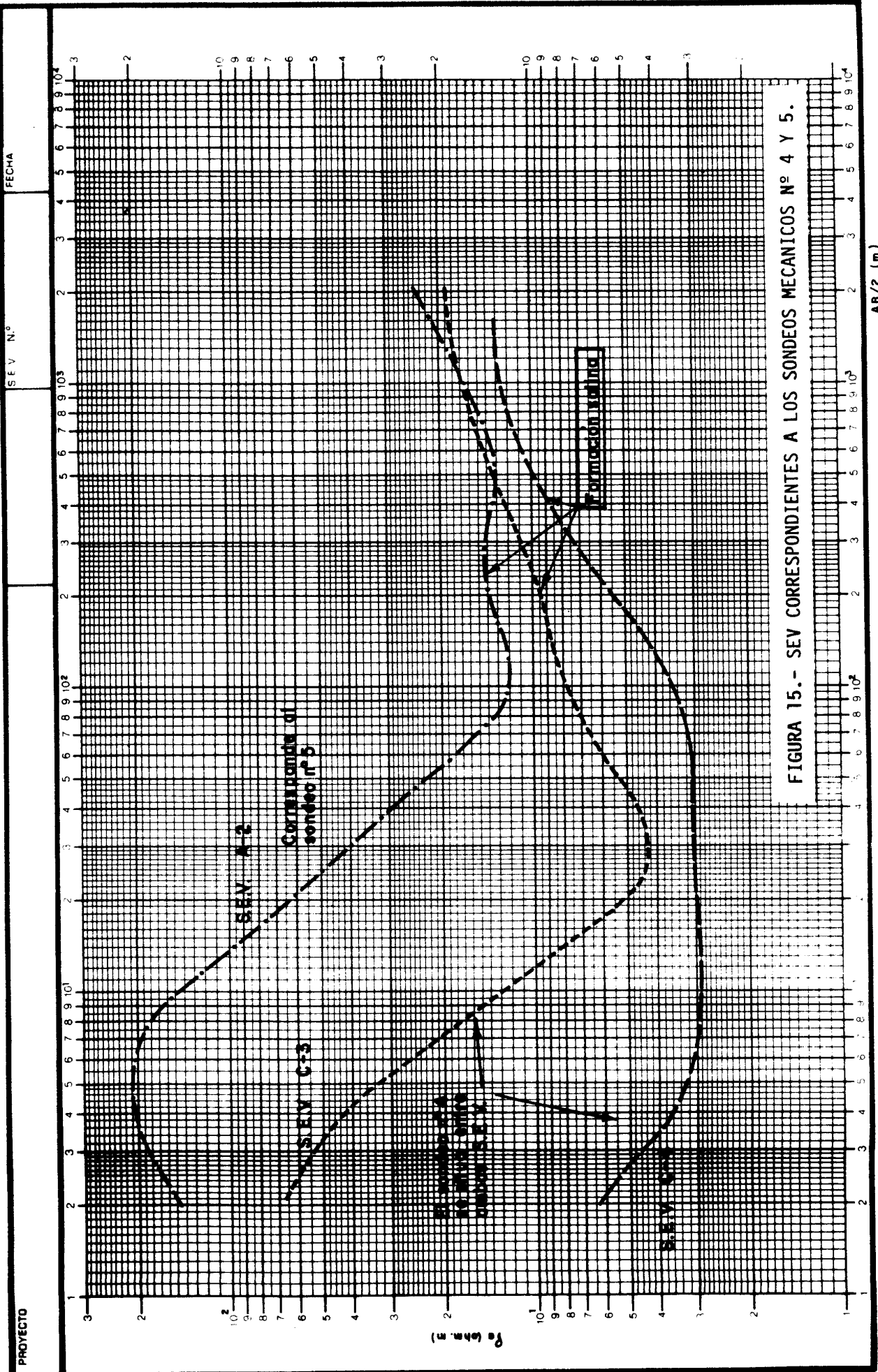


FIGURA 15.- SEV CORRESPONDIENTES A LOS SONDEOS MECANICOS N.º 4 Y 5.

Una diferencia sustancial a señalar entre los SEV y los SEDT es el efecto pantalla que la formación salina ejerce en los primeros. Efectivamente, en el caso - del sondeo 4 a pesar de haberse alcanzado aperturas entre electrodos de emisión AB superiores a 2000 m no llegan a manifestarse con claridad los niveles conductores situados a muro de la sal.

Por contra el SEDT nº 4 realizado sobre el - mismo sondeo refleja no solo la presencia de las margas y margocalizas sino que incluso llega a definirse un basamento resistivo en una profundidad sensiblemente mayor.

En consecuencia, de la comparación entre SEV y SEDT para los dos sondeos mecánicos citados se puede concluir que los segundos son de mayor utilidad al permitir una mayor penetración sin pérdida por ello de resolución dentro del rango de profundidades que interesa investigar en el caso de la sal en cuencas Terciarias del tipo Lorca. Por otra parte el nivel de ruido de las curvas de SEV es - muy superior al de las curvas de SEDT, y además las exigencias logísticas de las últimas en zonas de accidentada topografía como es el caso de Lorca son muy inferiores a las de los SEV.

Todo ello lleva a la conclusión de que el método de SEDT ofrece ventajas sustanciales sobre el de SEV para la investigación de modelos geológicos similares al caso que se plantea en Lorca.

5.2. INTERPRETACION CUANTITATIVA.

Se ha realizado de forma automática por aplicación del programa "Nonlinear least-squares inversion of -- transient soundings for a coincident loop system". En su aplicación se ha partido del SEDT paramétrico correspondien

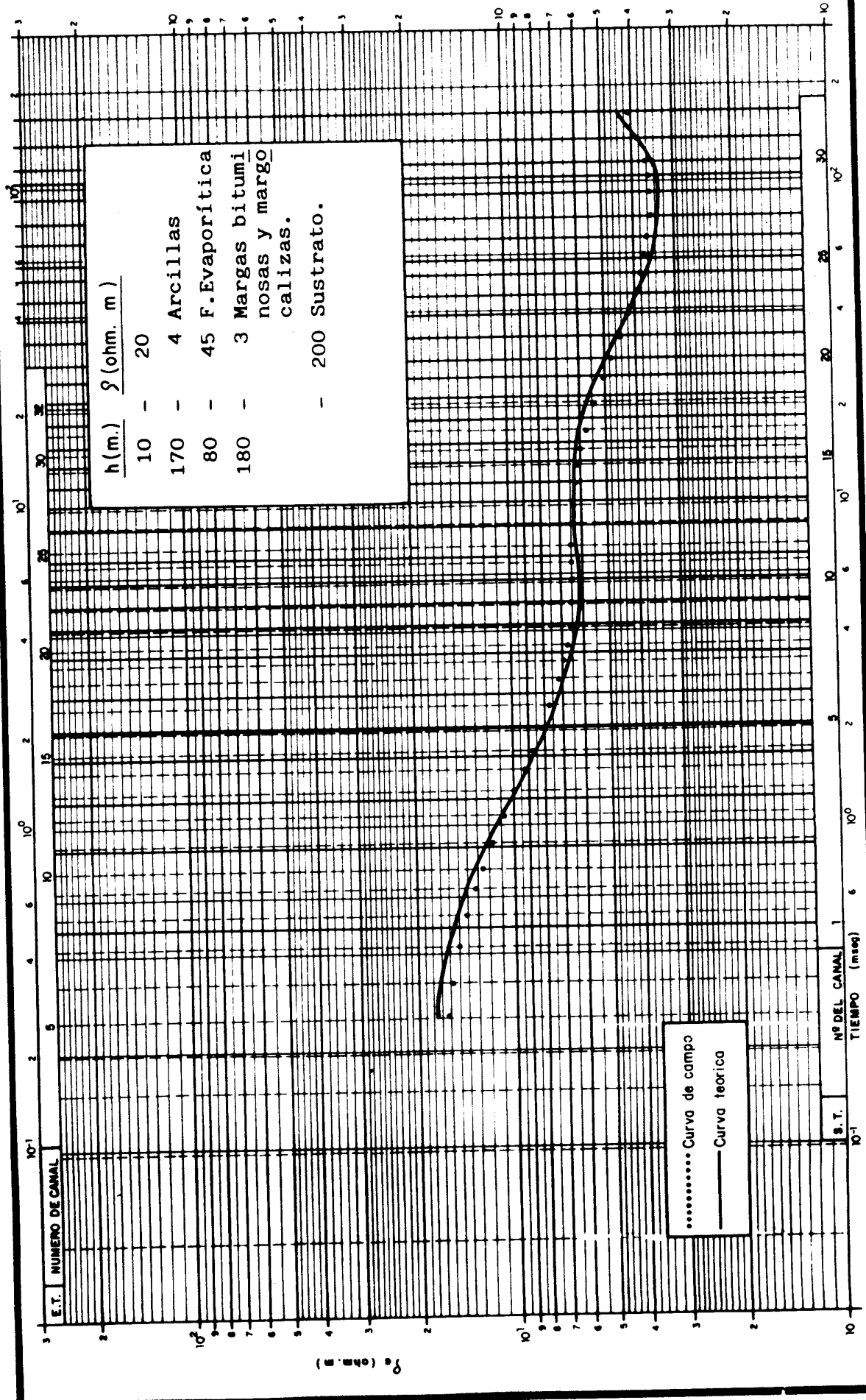
te al sondeo nº 4 dando al procedimiento de cálculo unos valores prácticamente definidos de los espesores de las unidades litoelectricas y en consecuencia de la mejor interpretación de este SEDT se han deducido los rangos de resistividad en que cabe ubicar cada una de ellas. Estos valores de resistividad han sido especialmente tenidos en cuenta en la interpretación de los restantes SEDT.

Es característica en varios de los SEDT una - cierta discrepancia entre la curva de campo y la teórica, correspondiente a la interpretación realizada dentro del tramo inicial de las mismas. Generalmente la curva teórica presenta una tendencia hacia un mínimo muy acusado, del tipo de una curva H de SEV, que afecta unicamente a los primeros canales. Ello es debido al efecto de la presencia de tramos superficiales muy conductores. Se salva este problema subdividiendo la primera capa, arcillas fundamentalmente, en dos o tres capas de resistividad creciente hacia superficie de modo que unicamente a la más profunda se le asigna la resistividad típica de una formación arcillosa.

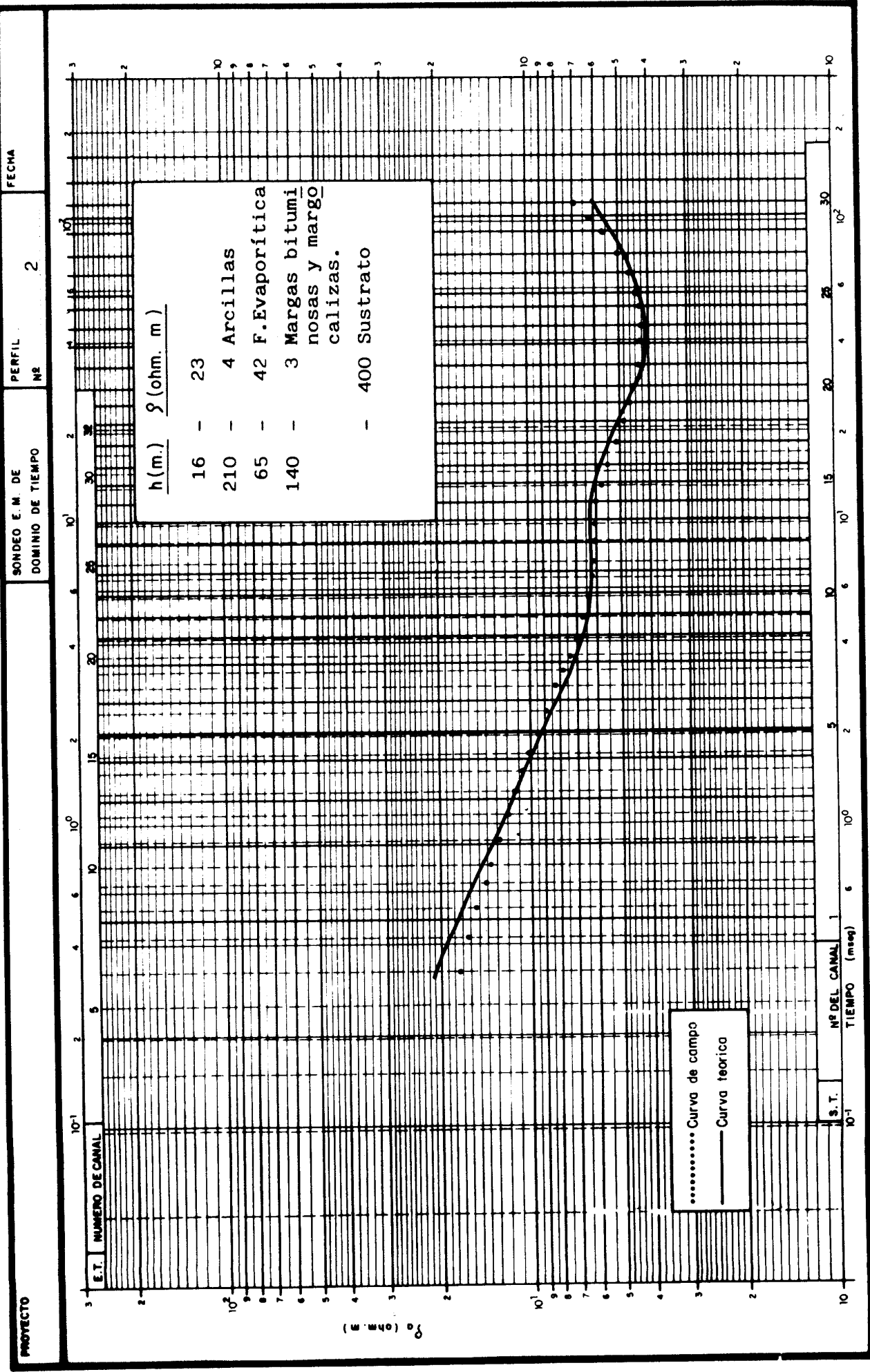
No consideramos necesario hacer una descripción escrita de cada uno de los SEDT puesto que en las páginas - que siguen se adjuntan todos ellos incluyendo en cada caso, la siguiente información:

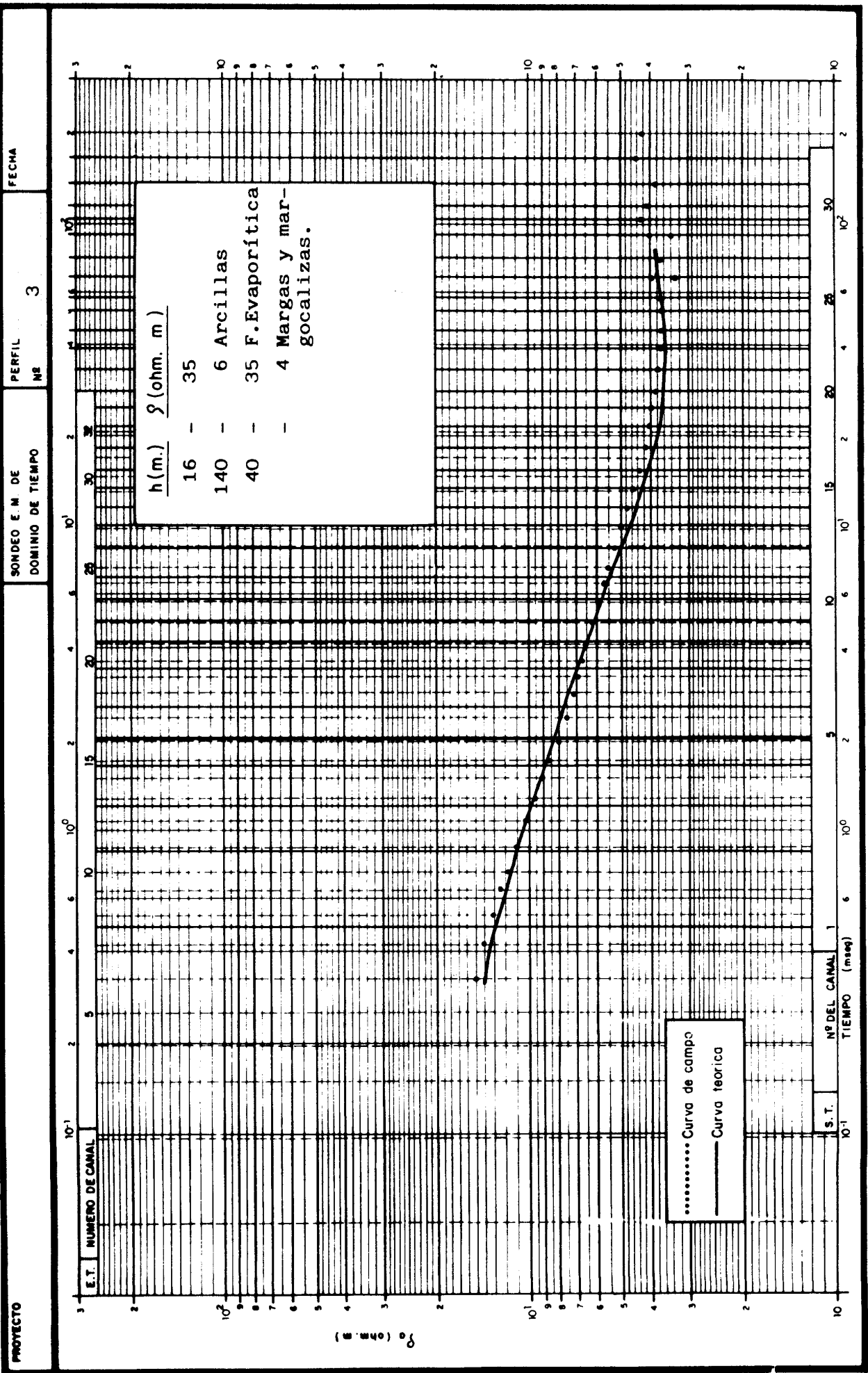
- Curva de campo.
- Curva teórica correspondiente a la interpretación realizada.
- Descripción del número de capas con su espesor y resistividad.

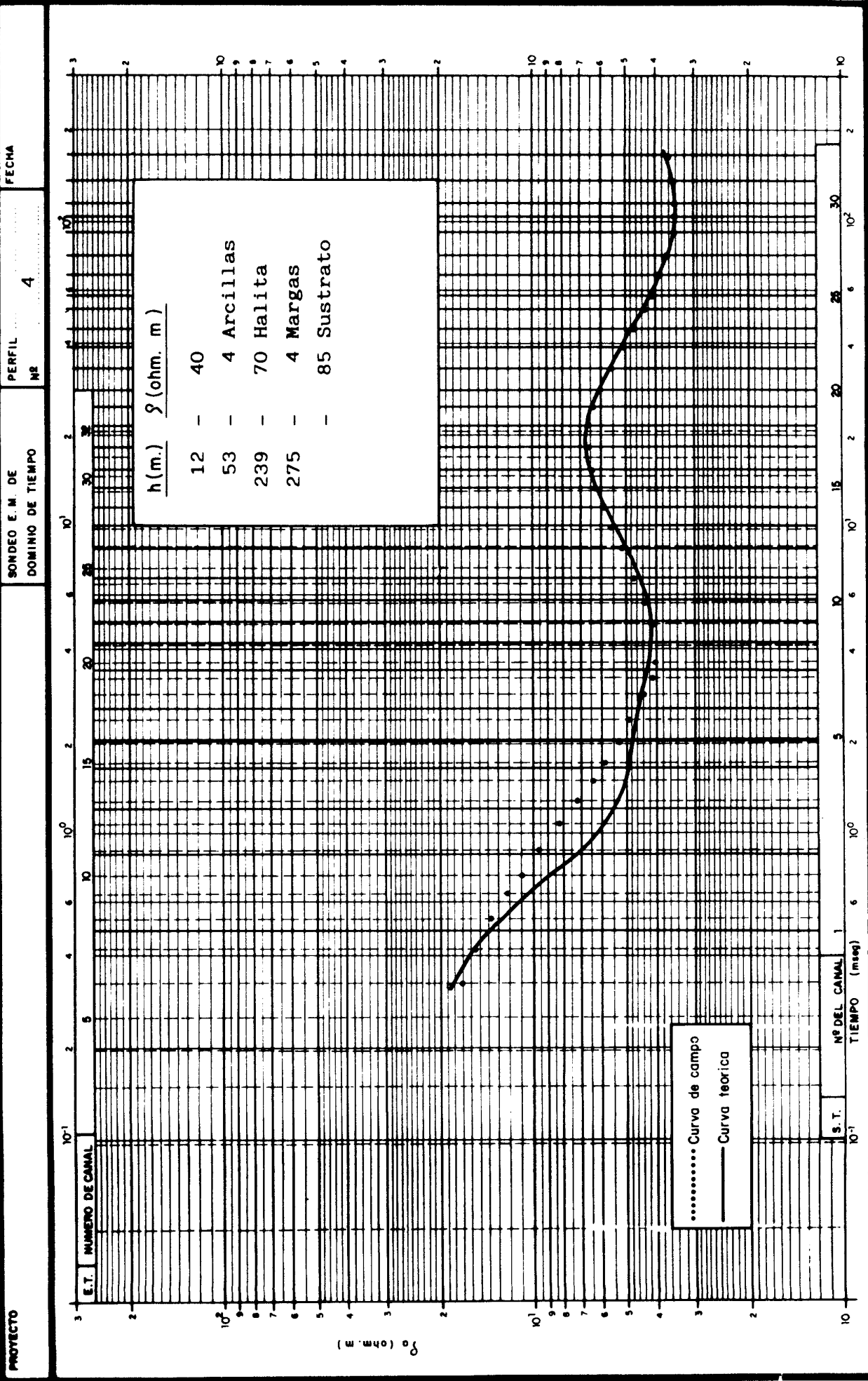
PROYECTO: _____ SONDEO E.M. DE DOMINIO DE TIEMPO: 1 PERFIL NR: 1 FECHA: _____



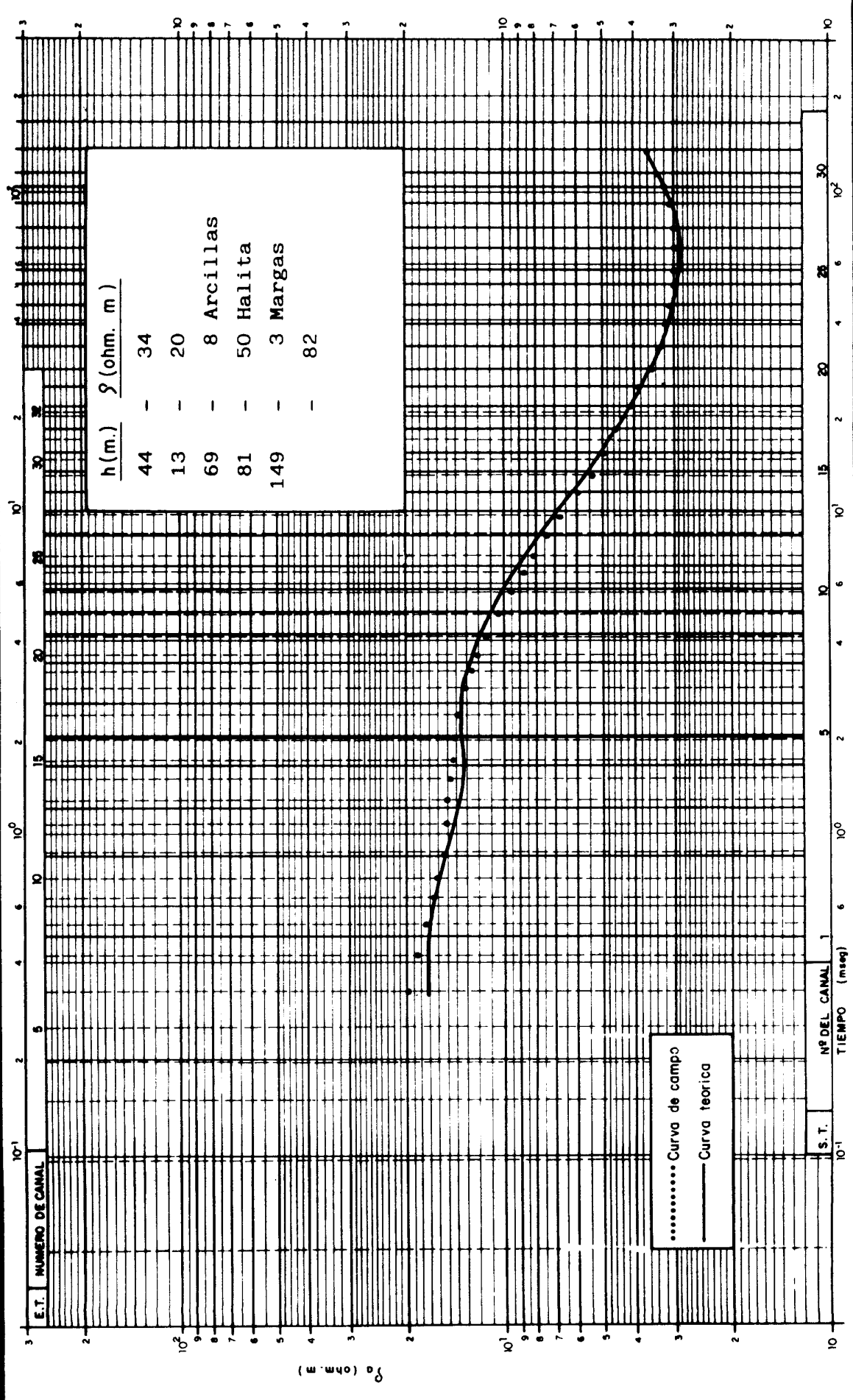
E.T. NUMERO DE CANAL: _____ S.T. _____
 Nº DEL CANAL: 1
 TIEMPO (ms): 10⁻¹ 1 2 3 4 5 6 10⁰ 10 15 20 25 30 10² 2





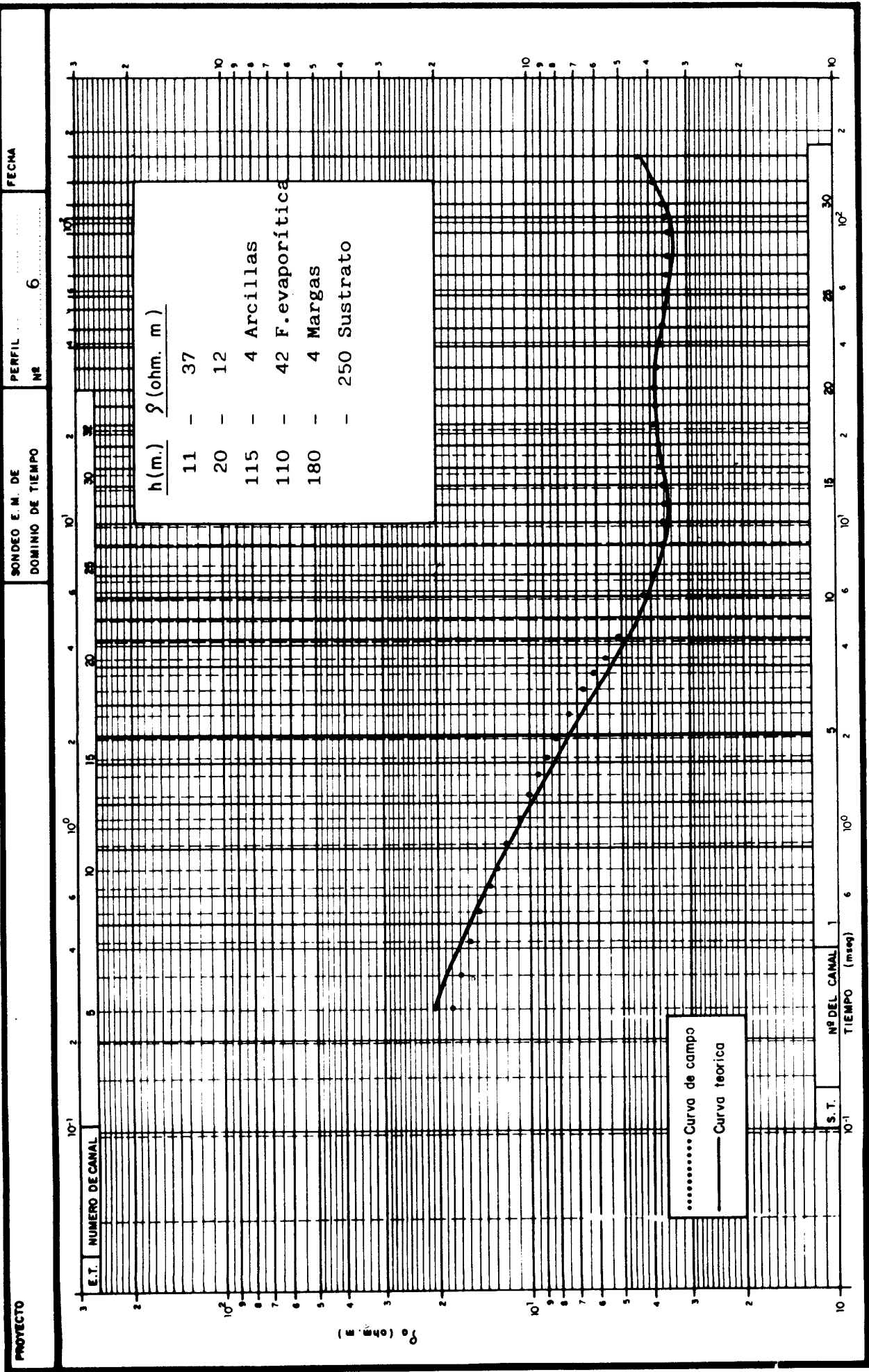


PROYECTO: _____ SONDEO E. M. DE DOMINIO DE TIEMPO: _____ PERFIL Nº: 5 FECHA: _____



..... Curva de campo
 ——— Curva teorica

E.T. NUMERO DE CANAL: _____ S.T. _____ Nº DEL CANAL: _____ TIEMPO (mseg): _____





GRUPO EMPRESARIAL CEGSA

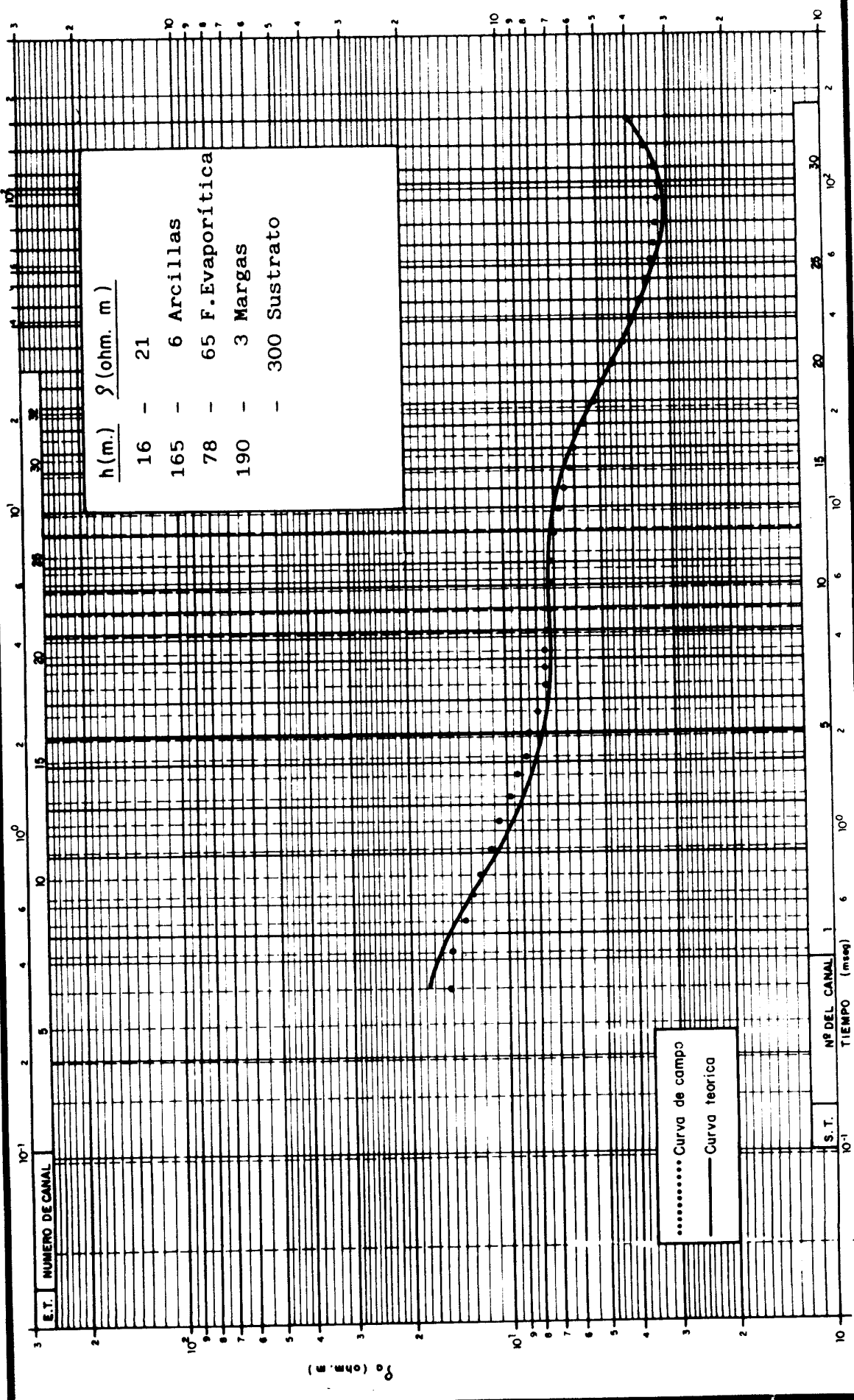
PROYECTO

SONDEO E. M. DE
DOMINIO DE TIEMPO

PERFIL
NR

7

FECHA



..... Curva de campo
—— Curva teórica

NR DEL CANAL
TIEMPO (msig)

S. T.
10⁻¹

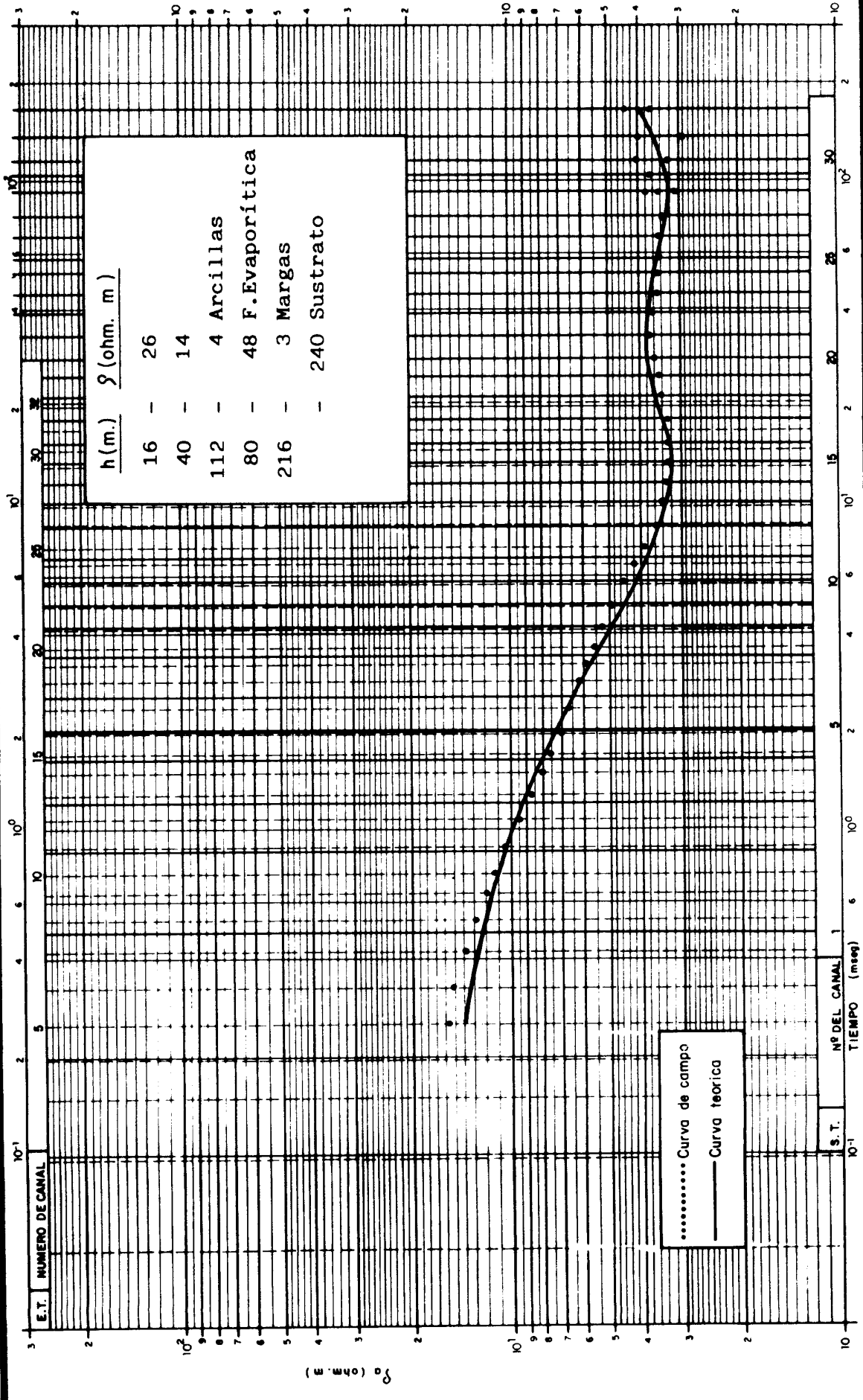
PROYECTO

SONDEO E. M. DE DOMINIO DE TIEMPO

PERFIL N°

8

FECHA



E.T. NUMERO DE CANAL

NP DEL CANAL
 S.T. TIEMPO (mseg)

..... Curva de campo
 — Curva teorica

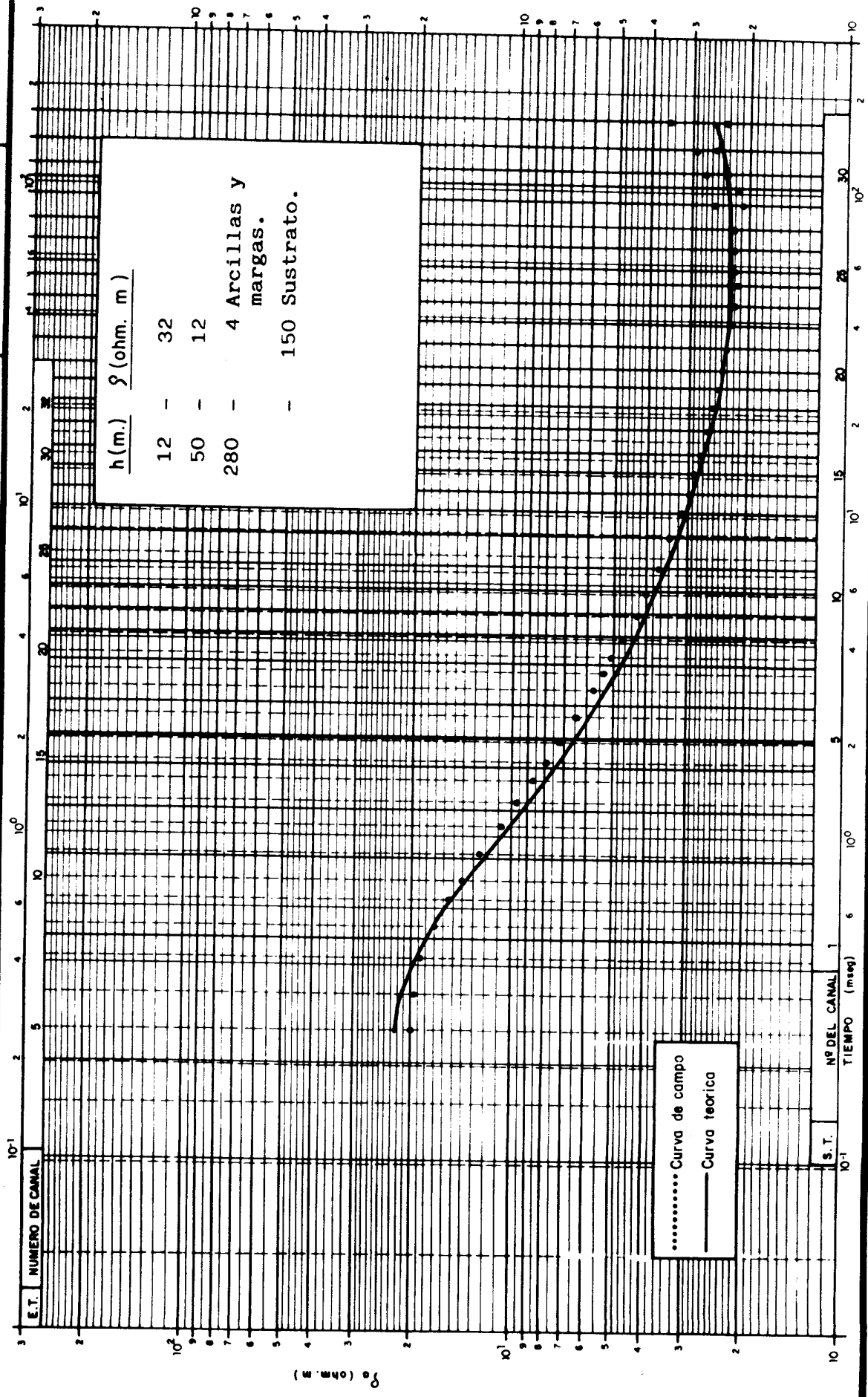
ρ (ohm. m)

PROYECTO

SONDEO E. M. DE
DOMINIO DE TIEMPO

PERFIL
Nº 9

FECHA



E.T. NUMERO DE CANAL

Nº DEL CANAL
TIEMPO (min)

S.T.

..... Curva de campo
— Curva teorica

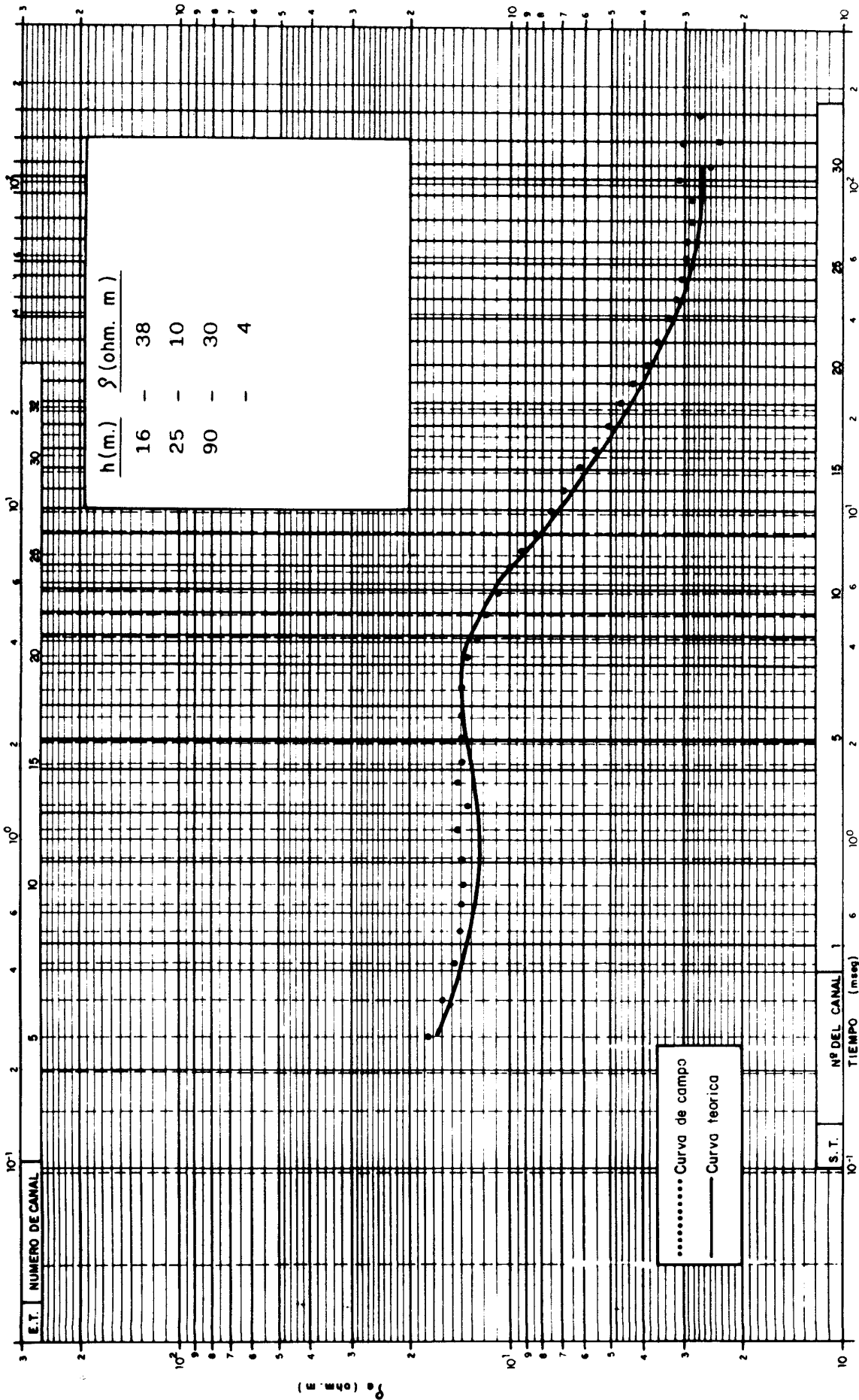
PROYECTO

SONDEO E. M. DE
DOMINIO DE TIEMPO

PERFIL
NR

10

FECHA



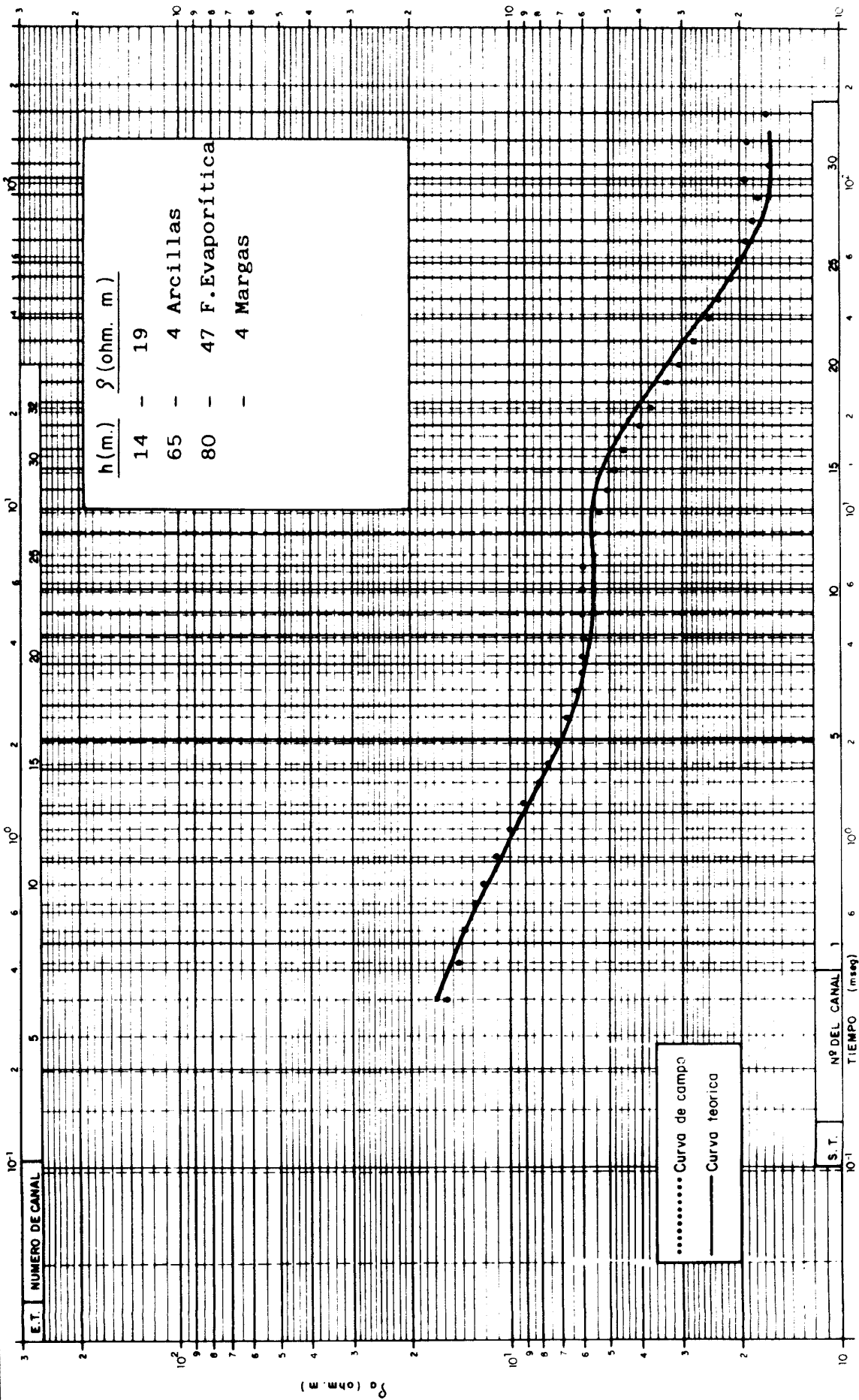
PROYECTO

SONDEO E. M. DE
DOMINIO DE TIEMPO

PERFIL
Nº

11

FECHA



E.T. NUMERO DE CANAL

Nº DEL CANAL
TIEMPO (min)

S.T.
10⁻¹

En términos generales las resistividades características de las diferentes capas involucradas en la zona de ensayo son las que se relacionan a continuación:

Primera capa: Arcillas, limos y areniscas.

Su resistividad varía entre 3 y 40 ohm.m.

Segunda capa: Margas con yesos.

Su resistividad del orden de 5 ohm.m.

Tercera capa: Halita con intercalaciones ocasionales de margas en bandas centimétricas.

Su resistividad entre 55 y 70 ohm.m.

Cuarta capa: Margas bituminosas, margas y calcarenitas.

Su resistividad en torno a 4 ohm.m.

Quinta capa: Sustrato constituido por materiales de los complejos Malaguide, - Alpujárride y Unidades Intermedias.

Su resistividad es superior a 100 ohm.m.

De los resultados deducidos de la interpretación y la relación de los mismos con el conocimiento geológico existente sobre la zona cabe concluir que el método de los SEDT ha resultado satisfactorio por cuanto es capaz de aportar una información coherente superando las dificultades -- operativas y de penetración que afectaron a los SEV en los trabajos previos desarrollados en el área del ensayo.

6. CONCLUSIONES

6. CONCLUSIONES.

Sin que se haya pretendido realizar un trabajo monográfico exhaustivo respecto al método de Sondeos Electromagnéticos de Dominio de Tiempos (SEDT), con este Proyecto se ha llevado a cabo un análisis de sus posibilidades - para casos concretos que afectan a zonas de interés dentro de las actividades del IGME.

Al margen de la síntesis realizada con un planteamiento práctico, huyendo en lo posible de excesivas explicaciones teóricas, los resultados más concluyentes de - este trabajo pueden enumerarse en los puntos siguientes:

a) Recopilación y estudio de los métodos interpretativos -directo e inverso- más precisos y operativos. De este proceso se ha concluido con la adopción y -- aplicación de una colección de programas que cubren las posibilidades más comunes de ejecución de SEDT.

b) Dentro de la simplificación que representa asumir un valor standard de resistividad para cada una de las unidades litológicas involucradas en los modelos geoelectricos, se han calculado tres colecciones de curvas teóricas correspondientes a los casos de Lorca, Olot y una zona de tipo general que pudiera caracterizarse por su complejidad estructural.

Estas curvas reflejan en su forma diferencias sensibles de comportamiento frente a las variaciones de espesor o resistividad de las capas más significativas. El análisis de estas diferencias ha de realizarse en cada caso para valorar las posibilidades de resolución del mismo. Queda fuera del objeto de estas conclusiones salvo en la - conveniencia de señalar que las colecciones de curvas teóricas, calculadas cumplen correctamente el papel previsto

y constituyen un valioso material de partida de cara a futuros planteamientos de investigación en las áreas - consideradas.

c) El ensayo de campo llevado a cabo en el - área de Lorca puede considerarse especialmente útil por varios aspectos. En primer lugar porque los resultados correspondientes a los SEDT realizados sobre sondeos mecánicos muestran de una forma claramente diferenciada - la presencia de la capa de halita -recordemos que este es el objetivo fundamental en la zona-. En segundo tér^omino, cuantitativamente hablando, los espesores deducidos presentan un grado de concordancia con los conocidos de los sondeos muy superiores al de los métodos convencionales.

Otro detalle importante a señalar es que, pe^ose a que el ambiente de la zona es conductor en líneas generales, la penetración conseguida es muy elevada (superior a 500 m en todos los casos) pese a las reducidas dimensiones del bucle emisor (200 x 200 m). Ello confir^oma las grandes posibilidades del equipo SIROTEM utilizado ya que el rango de tiempos de sus ventanas de lectura al extenderse hasta valores superiores a 150 ms permite la investigación de rangos de profundidad superiores a - los de cualquier otro equipo de su género.

Como consideración final insistimos en la idea de que este Proyecto ha constituido un primer paso, quizás vacilante en ciertos aspectos, pero atrayente en muchos- otros, y especialmente por las enormes posibilidades que parece ofrecer el método y que unicamente la adquisición de experiencia en su aplicación irá encauzando para obte^oner de él la mayor utilidad en todos los aspectos.

7. BIBLIOGRAFIA

7. BIBLIOGRAFIA.

ANDERSON, W.L., 1979b, Program MARQDCLAG: Marquardt --
inversion of DC Schlumberger soundings by lagged-
convolution: U.S.G.S. open-file rep. 79-1432, 58p.

ANDERSON, W.L., 1982b, Calculation of transient soundings
for a coincident loop system (Program TCOLOOP):
U.S.G.S. open-file rep. 82-378, 77p.

- - - - 1982c, Nonlinear least-squares inversion of --
transient soundings for a coincident loop system
(Program NLSTCO): U.S.G.S. open-file ref. 82-1064,
34p.

- - - - 1982d, Nonlinear least-squares inversion of --
transient soundings for a central induction loop
system (Program NLSTCI): U.S.G.S. open-file rep.
82-1129, 34p.

BUSELI, G., 1982, The effect of near-surface superparamag-
netic material on electromagnetic measurements:
Geophysics, v 47, p. 1315-1324.

BUSELI, G., and O'NEILL; B., 1977, SIROTEM: A new portable
instrument for multichannel transient electromag-
netic measurement: Australian Soc. of Expl. Geophys,
v.8 n° 3, p 82-87.

FRISCHKNECHT, F.C., ANDERSON, W.L., and RAAB, P.V., 1981. -
Experiments with the central loop and coincident
loop time-domain electromagnetic sounding methods:
Geophysics, v. 47, p. 433.

- KAUFMAN, A.A., and KELLER, G.V., 1983. Frequency and transient soundings: Methods in Geochemistry and Geophysics, 16, Amsterdam, Elsevier Publ. Co., 685p.
- RAAB, P.V. and FRISCHKNECHT, F.C., 1983. Desktop computer processing of coincident and central loop time - domain electromagnetic data: U.S.G.S. open-file rep. 83-240, 43p.
- SPIES, B.R., 1980, The application of the transient electromagnetic method in Australian conditions - - Field examples and model studies: Ph.D. Thesis, Macquarie Univ., Australia, 223 p.
- SPIES, B.R., and PARKER, P.D., 1984. Limitations of large loop TDEM surveys in conductive terrains: Geophysics, v.49, this issue, p 902-912.
- SPIES, B.R. and RAICHE, A.P., 1980. Calculation of apparent conductivity for the transient electromagnetic -- (coincident loop) method using an HP-67 calculator: Geophysics, v. 45, p 1197-1200.

PLANOS