

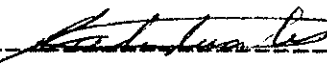
RESUMEN de la tesis de Fernando Herrera Barrientos, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS en GEOFISICA, con opción en GEOFISICA DE EXPLORACION. Ensenada, Baja California, México. Julio de 1982.

DISEÑO, CONSTRUCCION Y PRUEBA DE UN EQUIPO AUTOMATICO
DE SUMINISTRO DE TENSION Y ADQUISICION DE DATOS
PARA ESTUDIOS DE RESISTIVIDAD.

Resumen Aprobado por:



Dr. Mario Martínez G.
Director de Tesis



M. en C. Carlos Duarte M.
Co-Director de Tesis

Se construyó un equipo automático de suministro de tensión y adquisición de datos para estudios de resistividad por corriente continua.

Los objetivos perseguidos al diseñar el equipo fueron: rapidez en la toma de datos, confiabilidad en los datos adquiridos y capacidad para hacer un procesado previo

de datos en el campo.

Las anteriores características de diseño fueron satisfechas al automatizar el sistema, efectuando el control del mismo con la microcomputadora AIM 65. El sistema se probó en el laboratorio y en el campo, se efectuaron además 5 sondeos geoelectricos con apertura total de 1 kilómetro en el Valle de Maneadero, localizado a 12 Km. al sur de Ensenada B. C.

La interpretación de datos fué hecha con programas de computadora basados en el algoritmo de Pekeris. De la interpretación se deduce el nivel superior y espesor del acuífero existente en el Valle, para los puntos donde se efectuaron los sondeos geoelectricos.

CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y DE
EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA

DEPARTAMENTO DE GEOFISICA

DISEÑO, CONSTRUCCION Y PRUEBA DE UN EQUIPO AUTOMATICO
DE SUMINISTRO DE TENSION Y ADQUISICION DE DATOS
PARA ESTUDIOS DE RESISTIVIDAD.

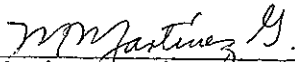
TESIS

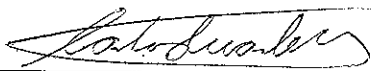
Que para cubrir parcialmente los requisitos
necesarios para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS
presenta.


FERNANDO HERRERA BARRIENTOS


Ensenada, B. C. Julio de 1982.

TESIS APROBADA PARA SU DEFENSA POR:


Dr. Mario Martínez García, Director del Comité


M.C. Carlos Duarte Muñoz, Co-director del Comité


M.C. Raymundo Vega Aguilar, Miembro del Comité


M.C. Morses Castro Delgado, Miembro del Comité

Dr. Alfonso Reyes Zamora, Director del Departamento de Geofísica


Dr. Enrique Carrillo Barrios-Gómez, Coordinador Académico

Tesis presentada en agosto 11, 1982.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
I INTRODUCCION	1
II DESCRIPCION DEL SISTEMA	5
II.1 Características del sistema	5
II.2 Aspectos Generales	6
II.3 Alimentación	8
II.4 Selección de nivel de tensión alterna	9
II.5 Rectificación y conmutación de tensión	10
II.6 Filtrado	12
II.7 Medición	12
II.8 Control y adquisición de datos	16
III CIRCUITERIA	19
III.1 Sincronizador de cruces por cero	19
III.2 Disparador de tiristores	20
a). - Generador de pulsos	21
b). - Selector de encendido/apagado y polaridad	25
c). - Amplificación y aislamiento de tiristores	25
III.3 Conmutador de potencia	28
III.4 Filtrado	30
III.5 Señalización de muestreo	31
III.6 Activador de medidores digitales	35
III.7 Interfaz receptora de datos	35
III.8 Compensador de autopotencial	38

IV PROGRAMACION	41
IV.1 Rutina controladora de período (RELOJ)	41
IV.2 Rutina de inicialización (INIC)	42
IV.3 Rutinas acumuladoras de tensión y corriente	44
IV.4 Rutina despachadora de tareas (SPRIN)	48
IV.5 Rutina de encendido/apagado (RESET)	50
IV.6 Programa Principal	50
IV.7 Mapa de memorias	55
V PRUEBAS DE LABORATORIO Y DE CAMPO	57
V.1 Ensamblado del equipo	57
V.2 Lectura y almacenamiento de programas	58
V.3 Descripción de pruebas de laboratorio	60
V.4 Resultados experimentales de laboratorio	62
V.5 Procedimiento de campo	63
V.6 Prueba de campo.	67
V.7 Resultados y conclusiones de la prueba de campo	68
VI DATOS DE CAMPO E INTERPRETACION	71
VI.1 Teoría del método de la Resistividad	71
VI.2 Operación del sistema	73
VI.3 Presentación de datos de campo	74
VI.4 Interpretación geoelectrónica	74
LITERATURA CITADA	89
APENDICE	91

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
1	Diagrama de bloques del sistema automático de aplicación de tensión y adquisición de datos.	7
2	Selector de nivel de tensión	11
3	Formas de onda de la tensión del transformador y de la tensión rectificadora y conmutada.	11
4	Señal de disparo de tiristores	12
5	Filtro pasa bajas RC	13
6	Formas de onda de tensión aplicada e inducida en el terreno.	15
7	Circuito sincronizador de cruces por 0 volts	22
8	Circuito generador de pulsos	22
9	Detección de cruces por 0 volts	23
10	Diagramas de tiempo	24
11	Circuito de amplificación y aislamiento de tierras.	27
12	Diagrama lógico de las señales de control	27
13	Interfaz para control de encendido/apagado y polaridad de la tensión aplicada.	29
14	Circuito conmutador de tensión	29
15	Circuito señalizador de muestreo	32
16	Diagramas de tiempo de la señalización de muestreo.	33
17	Diagrama de bloques del sistema de recepción de datos.	37
18	Circuito compensador de potencial natural	39
19	Diagrama de flujo de la subrutina Reloj	43

20	Diagrama de flujo de la subrutina Inic	45
21	Diagrama de flujo de la subrutina Acumv	46
22	Diagrama de flujo de la subrutina Sprin	49
23	Diagrama de flujo del programa principal	53
24	Arreglo Schlumberger	54
25	Ensamblado del equipo	58
26	Vista del rectificador y conmutador	59
27	Sistema de control y adquisición de datos	59
28	Esquema de la prueba de laboratorio	61
29	Forma de onda del potencial para período de 1 seg.	64
30	Forma de onda del potencial para período de 5 seg.	64
31	Forma de onda del potencial para período de 10 seg.	64
32	Forma de onda del potencial para período de 15 seg.	65
33	Forma de onda del potencial para período de 16 seg.	65
34	Forma de onda del potencial para período de 24 seg.	65
35	Gráficas de la prueba de campo y del sondeo S13	70
36	Líneas de corriente y superficies equipotenciales debidas a una fuente puntual de corriente.	54
37	Localización de sondeos geoelectricos de resistividad.	75
38	Datos de campo y modelo propuesto para el sondeo eléctrico vertical No. 1	83
39	Datos de campo y modelo propuesto para el	

	sondeo eléctrico vertical No. 2	84
40	Datos de campo y modelo propuesto para el sondeo eléctrico vertical No. 3	85
41	Datos de campo y modelo propuesto para el sondeo eléctrico vertical No. 4	86
42	Datos de campo y modelo propuesto para el sondeo eléctrico vertical No. 5	87
43	Perfil geoelectrico	88

LISTA DE TABLAS

<u>Tabla</u>		<u>Página</u>
I	Mapa de memoria del programa y las rutinas utilizadas.	55
II	Localidades de memoria específicas.	56
III	Prueba de campo y sondeo S13	69
IV	Datos de campo del sondeo eléctrico vertical No. 1	76
V	Datos de campo del sondeo eléctrico vertical No. 2	77
VI	Datos de campo del sondeo eléctrico vertical No. 3	78
VII	Datos de campo del sondeo eléctrico vertical No. 4	79
VIII	Datos de campo del sondeo eléctrico vertical No. 5	80
IX	Interpretación geoelectrica	81

DISEÑO, CONSTRUCCION Y PRUEBA DE UN EQUIPO AUTOMATICO
DE SUMINISTRO DE TENSION Y ADQUISICION DE DATOS
PARA ESTUDIOS DE RESISTIVIDAD.

I INTRODUCCION

Existen en Geofísica de Exploración varios métodos eléctricos que, mediante mediciones realizadas en la superficie de la tierra, tratan de determinar la distribución en profundidad de la resistividad del subsuelo. Con el conocimiento de ésta, aunado a información geológica adicional es posible determinar estructuras geológicas de interés económico.

Uno de los métodos mas ampliamente usados para este propósito, es el de 'resistividad por corriente continua'. En este método, una corriente directa o alterna de baja frecuencia se introduce al terreno mediante dos electrodos y se mide una diferencia de potencial entre dos puntos de prueba, adecuadamente elegidos con respecto a los electrodos de corriente. Con el conocimiento de la diferencia de potencial por unidad de corriente enviada a través del terreno y la configuración de los electrodos, es posible calcular la resistividad del subsuelo.

La corriente que se inyecta al terreno se genera mediante la aplicación de una tensión continua que se conmuta. Tomando en consideración que la conducción eléctrica del terreno se debe principalmente a portadores de carga iónicos, la tensión continua aplicada se conmuta para tratar de impedir una polarización en los electrodos de corriente (los electrodos de corriente son barras de acero).

Se presentan sin embargo algunas dificultades prácticas para medir la tensión provocada por el flujo de corriente, debido a que existe en el terreno un potencial natural originado por efectos electroquímicos. Se presentan también potenciales producidos por corrientes telúricas, ruidos industriales, etc. Además, los cambios en la tensión aplicada producen tensiones transitorias en el terreno debido a que este aparte de su resistividad posee propiedades inductivas y capacitivas.

Los equipos usados en el país para hacer estudios de resistividad por corriente continua generalmente son manuales, o semiautomáticos en el mejor de los casos. Básicamente son generadores de corriente continua operando de la siguiente manera: se aplica al terreno una tensión continua y una persona registra los valores de corriente suministrada y voltaje observado en el terreno. Inicialmente espera que los valores de tensión se estabilicen, lo cual

ocurre al estabilizarse la corriente inyectada. Posteriormente repite ambas mediciones invirtiendo el sentido de la corriente, tratando de esa manera de eliminar el potencial natural al promediar los valores de tensión obtenidos. El registro de información efectuado de esa manera impide hacer la adquisición de un número suficientemente grande de datos en el tiempo típico utilizado para efectuar un sondeo geoelectrico.

La adquisición de una gran cantidad de datos permitiría hacer evaluaciones estadísticas que darían una medida de la calidad del sondeo. Es de gran ayuda para el Geofísico encargado del estudio contar con estas evaluaciones en el campo a fin de poder extraer la señal del ruido de una manera estadística.

El presente trabajo de Tesis nació ante la necesidad de poseer un equipo con tales características: rapidez y confiabilidad en la toma de mediciones y capacidad para procesar los datos en el campo. La Tesis consiste en el diseño, construcción y prueba de un equipo automático de conmutación de tensión y adquisición de datos para estudios de resistividad. Además se incluye la interpretación geoelectrica de cinco sondeos realizados en el Valle de Maneadero como prueba del equipo.

Cabe hacer notar que el sistema servirá de modelo o prototipo para un equipo de resistividad que será construido en la Sección de Métodos Eléctricos del Departamento de Geofísica.

II DESCRIPCION DEL SISTEMA

En este capítulo se describe en forma general el sistema automático de conmutación de tensión y adquisición de datos; se analiza su funcionamiento y se señalan sus características operativas. Lo anterior cubre la descripción de los aspectos generales en el suministro de energía, conmutación de potencia, adquisición y tratamiento de datos y control del sistema.

II.1 CARACTERISTICAS DEL SISTEMA.

El sistema ha sido diseñado para estudios a profundidades someras (algunos cientos de metros). La potencia máxima que maneja son 5 kilowatts, con capacidad de inyectar hasta un máximo de cinco amperes. Debido a que por la naturaleza del método se emplean bajas frecuencias, la frecuencia máxima de conmutación en la corriente suministrada al terreno es de 1 ciclo/seg.

La rapidez de muestreo en la toma de datos de corriente inyectada y tensión producida en el terreno es variable, y fluctúa entre un mínimo de 3 muestras por segundo y un máximo de 40. Esta es característica de los medidores utilizados.

II.2 ASPECTOS GENERALES

El sistema automático de conmutación de tensión y adquisición de datos consta esencialmente de cinco subsistemas, los cuales son:

- a).- Alimentación
- b).- Selección de nivel de tensión alterna
- c).- Rectificación y conmutación de potencia
- d).- Medición
- e).- Control y adquisición de datos

La figura 1 muestra la forma en que estos subsistemas interactúan.

Funcionamiento del sistema.

El sistema en cuestión funciona de la manera siguiente: el selector de nivel de tensión toma 120 volts a 60 Hertz en corriente alterna de un motor generador y los transforma a la magnitud deseada entre 0 y 1200 volts en corriente alterna. El subsistema de rectificación y

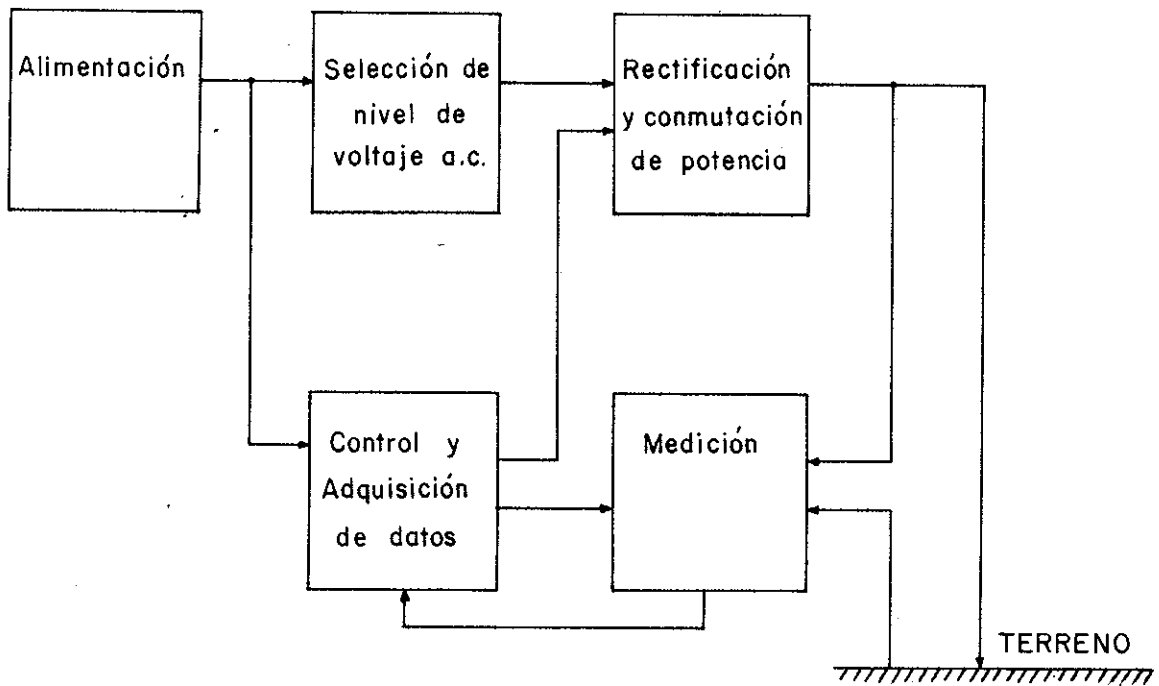


Fig.1 Diagrama de bloques del sistema automático de inyección de corriente y adquisición de datos.

conmutación de potencia rectifica en onda completa y conmuta la tensión transformada, lográndose de esta manera obtener señales bipolares cuya frecuencia depende de la rapidez de conmutación. Finalmente esta señal se hace pasar por un filtro pasa bajas RC, el cual al atenuar las altas frecuencias permite obtener una tensión bipolar aproximadamente cuadrada. La aplicación en el terreno de esta tensión origina un flujo de corriente, la que a su vez ocasiona diferencias de potencial. Las mediciones de la corriente suministrada al terreno y la tensión que el paso de esta corriente ocasiona son realizadas en forma digital. El sistema es controlado automáticamente mediante la microcomputadora AIM-65.

II.3 ALIMENTACION.

El subsistema de alimentación lo forma un generador monofásico de corriente alterna movido por motor de combustión interna. Este subsistema genera la corriente que se inyecta al terreno y proporciona la energía de alimentación para la fuente de poder utilizada por la microcomputadora AIM-65. La fuente de poder también alimenta la circuitería conectada alrededor de los subsistemas de rectificación y conmutación de potencia y de medición. La microcomputadora emplea tensiones continuas de 24 y 5 volts,

con un consumo máximo de potencia de 50 watts. La potencia del generador de corriente es de 5 kilowatts a 120 volts y 60 Hertz.

II.4 SELECCION DE NIVEL DE TENSION ALTERNA

El selector de nivel tiene como función transformar los 120 volts de corriente alterna proporcionados por el generador, a la magnitud apropiada entre 0 y 1200 volts. Esto se lleva a cabo mediante un autotransformador variable y un transformador elevador de tensión con una relación de 1:10 conectados en serie. La relación de transformación en el autotransformador variable se controla manualmente, lo que hace posible reducir la tensión proporcionada por el motor generador a cualquier valor comprendido entre 0 y 120 volts aproximadamente. La salida del autotransformador está conectada al primario del transformador elevador, con lo que se logra obtener una variación neta de tensión alterna desde 0 hasta 1200 volts. (fig. 2).

II.5 RECTIFICACION Y CONMUTACION DE TENSION

El rectificador y conmutador de potencia rectifica y conmuta la señal entregada por el selector de nivel de tensión. Este sistema consiste de dos puentes rectificadores de onda completa contruidos con tiristores. Los puentes están conectados en paralelo de tal forma que uno puede entregar tensión positiva y el otro negativa respecto a una terminal común. Esto es, la polaridad de la tensión de salida dependerá del puente rectificador que esté activado en un momento dado. El control sobre cada rectificador permite generar ondas cuadradas de polaridad alternante cuya frecuencia depende de los valores preestablecidos por el operador, como se explicará posteriormente. La figura 3 muestra la forma de onda de la señal rectificada y conmutada.

El disparo de los tiristores se sincroniza con los cruces en cero de la tensión alterna de 60 Hz, con el fin de evitar transiciones muy grandes en la corriente que circula a través de ellos (fig. 4). Además en cada cambio de polaridad de la tensión de salida se estableció un pequeño tiempo muerto de un ciclo ($1/60$ seg.), durante el cual ambos puentes rectificadores permanecen inactivos. La razón de generar este tiempo muerto es evitar que ambos puentes pudieran entrar en conducción simultáneamente. Las características de los tiristores utilizados se anexan en el

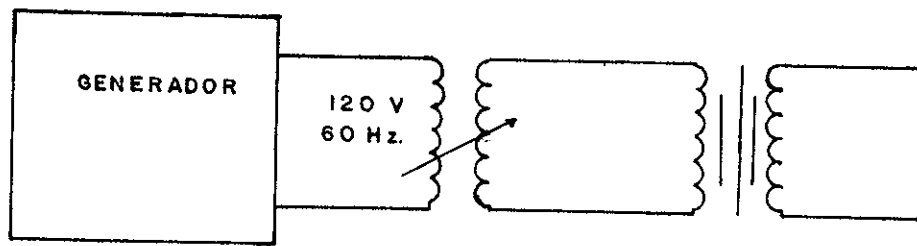


FIG. 2 SELECTOR DE NIVEL DE TENSION

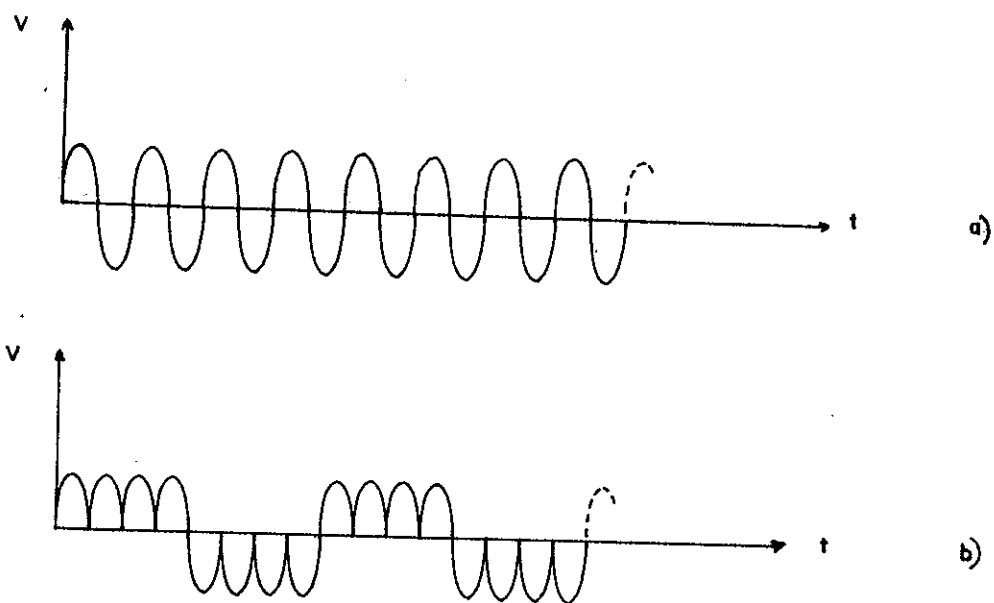


FIG.3 FORMAS DE ONDA a) tensión en el secundaria del transformador b) tensión rectificadada y conmutada.

Apéndice.

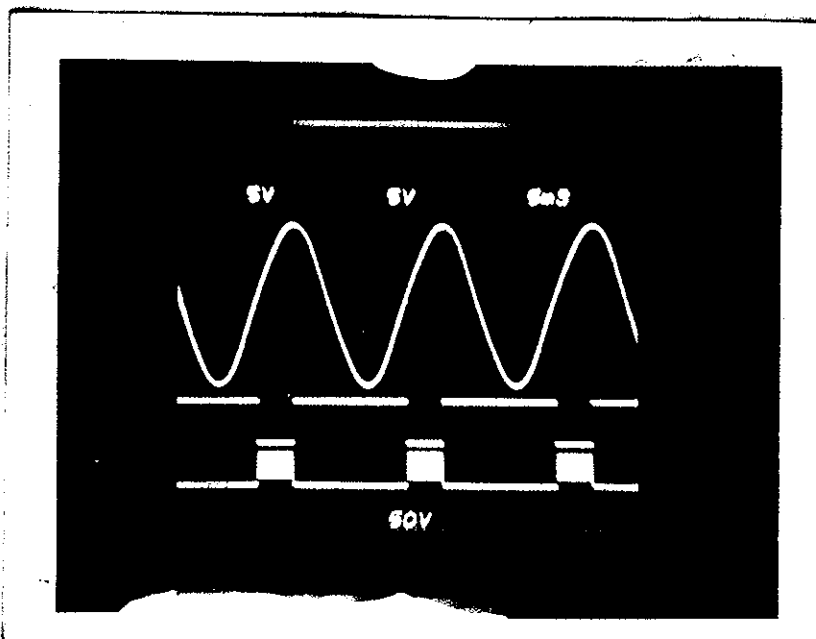


Fig.4 Señal de disparo de tiristores

II.6 FILTRADO

La señal rectificada y conmutada se hace pasar por un filtro pasa bajas RC para eliminar el rizo de la misma (fig. 5).

II.7 MEDICION

La corriente que se suministra al terreno se genera mediante la aplicación de una tensión bipolar cuadrada. El

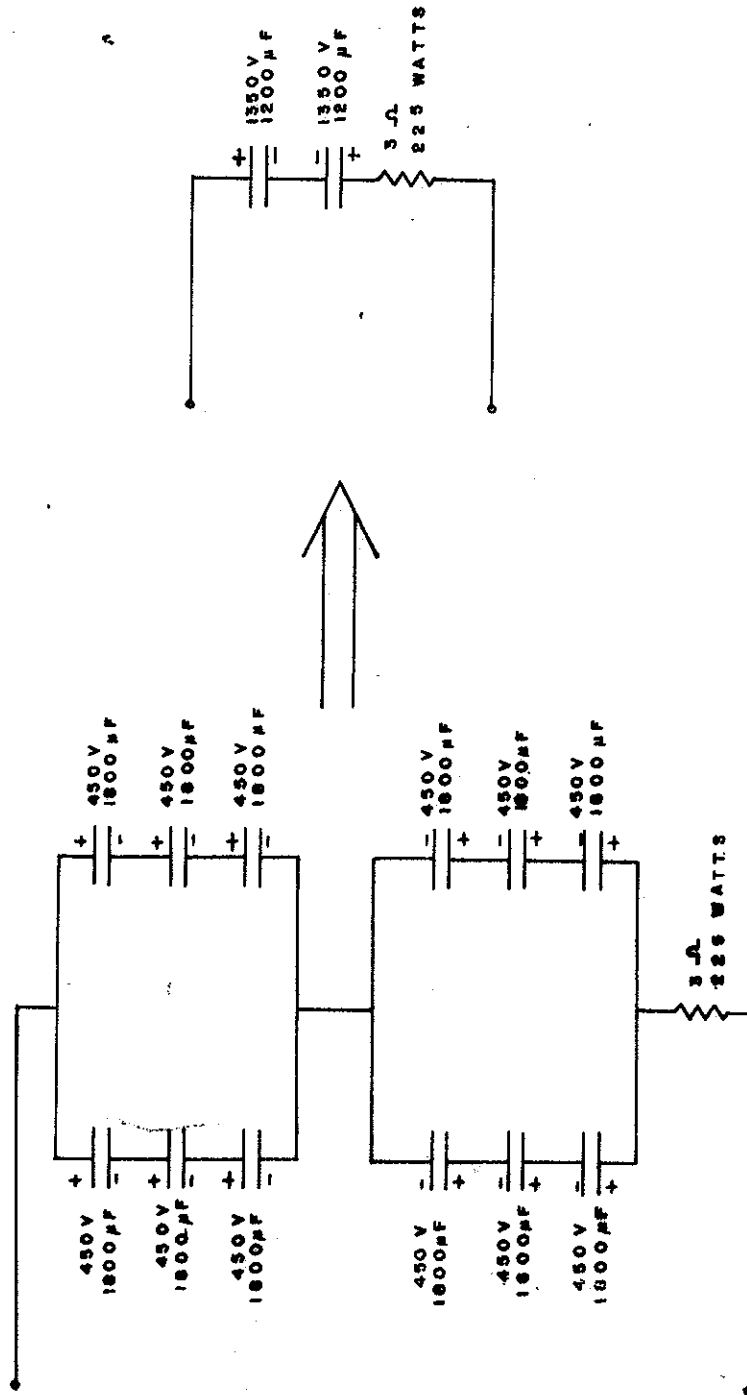


FIG. 5 FILTRO PASA BAJAS RC.

potencial que el paso de la corriente produce no conserva en general la misma forma de la tensión bipolar cuadrada aplicada al terreno. Esto es debido a que el terreno, además de ser resistivo posee efectos inductivos y capacitivos que producen tensiones transitorias cuando se conmuta la tensión aplicada. Para el método de la resistividad estos efectos son indeseables. De acuerdo a la ecuación 6, (Cap. VI) para estimar la resistividad aparente del terreno es necesario conocer la corriente inyectada así como la caída de potencial producida. La figura 6 muestra los intervalos en los que se realizan las mediciones, notándose que se han elegido de tal manera que evitan las cercanías donde ocurren los cambios de polaridad en la tensión aplicada. La razón de esto es que en esta región las tensiones transitorias son despreciables, figurando sólo el efecto resistivo.

En el sistema desarrollado, las mediciones se realizan utilizando voltímetros digitales (digital panel meters) comerciales con una resolución de tres y medio dígitos y máxima rapidez de muestreo de 40 muestras por segundo. Ambos medidores son controlados por la microcomputadora. Las mediciones de tensión y corriente se realizan a razón de 20 muestras por segundo y con las medidas tomadas se calculan tensión y corriente promedio. De esta forma se obtienen dos valores promedio de tensión y corriente, uno estimado para el semiciclo positivo y otro

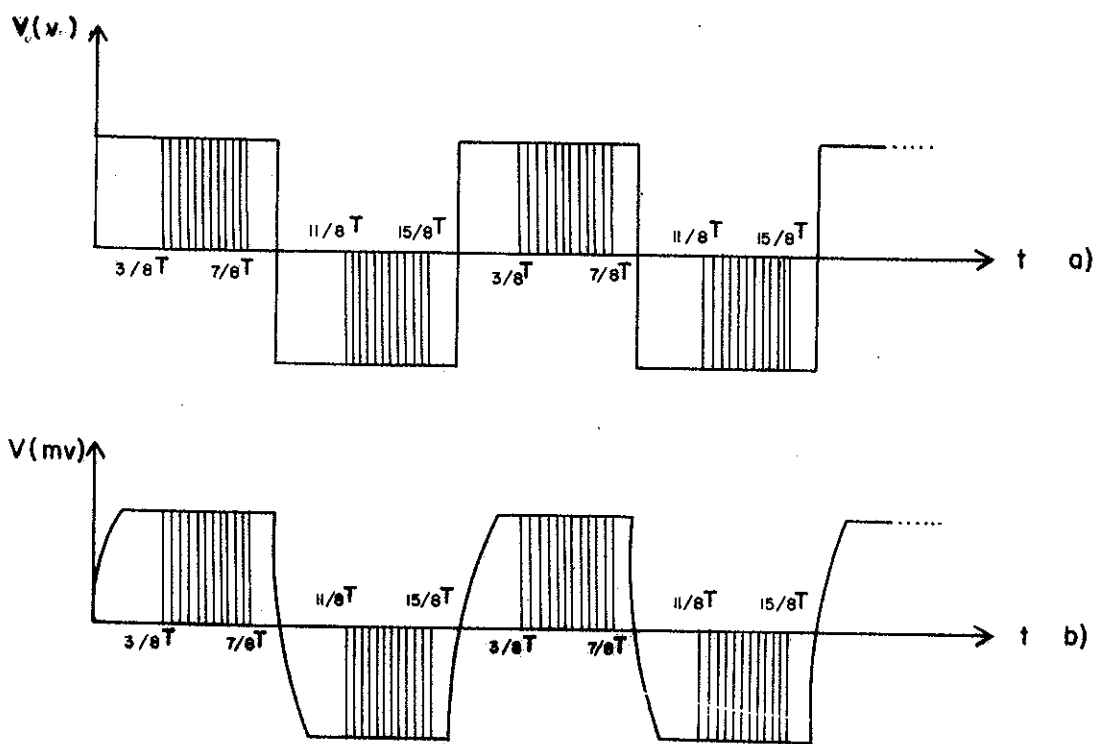


Fig. 6 Formas de onda de a) tensión aplicada al terreno
b) tensión inducida en el terreno.

para el negativo. Con los valores promedio de tensión y corriente correspondientes a ambos semiciclos, se calcula la tensión y la corriente pico a pico del ciclo. Finalmente con estos dos valores se estima la resistividad aparente. De esta manera se tiene un valor de resistividad aparente por ciclo de corriente inyectada.

El período de la corriente que se suministra al terreno es variable, y depende de la selección que haga el operador, al igual que la cantidad de ciclos generados. Debido a que el equipo se diseñó para estudios de resistividad por corriente continua o alterna a bajas frecuencias. El período mínimo seleccionado de cada ciclo fué de 1 segundo. Tomando en consideración que el tiempo invertido en la toma de datos no debe ser grande, se fijó en 256 el número máximo de ciclos de inyección.

II.8 CONTROL Y ADQUISICION DE DATOS

Para automatizar tanto el control de la tensión aplicada al terreno, como la adquisición de los datos medidos, se utiliza una microcomputadora AIM-65. Esta tiene 4 kilobytes de memoria RAM, y un monitor residente en ROM que permite editar, ensamblar y depurar programas en lenguajes ensamblador y BASIC. También cuenta con un par de puertos de

entrada y salida de 8 bits, 2 contadores de tiempo, 2 registros de recorrimiento y una impresora integrada que permite llevar el registro de los datos en el campo. Las funciones de la microcomputadora son:

1.- Controlar la frecuencia, y el número de ciclos de corriente que se aplicará al terreno.

2.- Controlar los medidores de corriente y tensión para efectuar las mediciones a la rapidez deseada y en el alcance de medición requerido.

3.- Parar el sistema cuando se hayan realizado las dos funciones anteriores o lo considere necesario el operador.

4.- Estimar la resistividad aparente en cada ciclo de corriente inyectada con los datos medidos.

5.- Realizar tareas estadísticas tales como el cálculo de la resistividad aparente promedio y la desviación estándar relativa.

6.- Imprimir y/o almacenar resultados.

El control en los sistemas de potencia y

adquisición de datos se realiza mediante programas escritos en lenguaje ensamblador y BASIC, los cuales se presentan en el capítulo IV.

III CIRCUITERIA

En este capítulo se hace un análisis más detallado de los circuitos que constituyen el sistema. Se discute primero el sistema del rectificador y conmutador de tensión, después el sistema de medición y finalmente los circuitos periféricos tales como VIAs (Versatil Interface Adapter) y PIAs (Peripheral Interface Adapter), describiéndose la forma en que estos últimos interactúan con la microcomputadora y los voltímetros digitales para lograr la completa automatización en las mediciones.

III.1 SINCRONIZADOR DE CRUCES POR CERO

El encendido de los tiristores se realiza cuando la tensión alterna del sistema de selección de nivel de tensión cruza por cero volts, para evitar grandes transiciones de corriente a través de ellos. Lo anterior se logra con el circuito de la figura 7, el cual tiene la función adicional de aislar los circuitos de línea alterna y la fuente de poder que alimenta la microcomputadora y la circuitería. Esto se hizo para evitar que la microcomputadora y la circuitería lógica queden expuestas a tensiones altos en caso de una falla o desperfecto en el sistema.

Análisis del Circuito.

La detección del cruce por cero se realiza por medio del circuito de la figura 7. Cada vez que la tensión sinusoidal cruza por cero volts, ocurre una transición de subida o de caída en la señal lógica de entrada del acoplador óptico HCPL-2730. La detección de estas transiciones de subida y caída permiten saber cuando ha ocurrido un cruce por cero volts en la señal senoidal de corriente alterna y deban encenderse los tiristores adecuados. El HCPL-2730 requiere para su funcionamiento de una corriente mínima de .2 miliamperes y máxima de 15. (Ver características en el apéndice). Mediante un divisor de tensión que incluye un diodo zener se reduce la tensión alterna del secundario del transformador hasta una tensión Zener de 12 volts. Esto permite una corriente máxima de entrada al acoplador óptico HCPL-2730 de aproximadamente 11 miliamperes. Aún cuando la tensión en el secundario del transformador alcance su valor máximo de 1000 volts, el exceso de corriente es absorbido por el diodo Zener.

III.2 DISPARADOR DE TIRISTORES

El circuito disparador de tiristores proporciona los pulsos de corriente necesarios para su correcto

encendido. Experimentalmente se observó que el encendido de los tiristores se logra con un solo pulso de corriente mayor de 80 miliamperes, o equivalentemente con un tren de pulsos de 50 Khz. de aproximadamente 40 miliamperes. Esta última opción fue la adoptada para hacer el encendido de los tiristores, en virtud de que se utilizaron transformadores de pulsos (como se explicará posteriormente) en las mallas gatillo-cátodo de cada tiristor y dichos elementos no pueden manejar corrientes de gran magnitud. El disparador de tiristores consiste de los siguientes circuitos: generador de pulsos, selector de encendido/apagado y polaridad y de un circuito amplificador de corriente.

a).- Generador de pulsos.

Cuando la señal senoidal de corriente alterna cruza por cero volts, el generador de pulsos (fig. 8), produce pulsos de alta frecuencia y baja corriente, los cuales posteriormente son amplificados y aplicados a la malla gatillo-cátodo de cada tiristor.

Análisis del generador de pulsos.

La señal del sincronizador de cruces por cero es la señal de entrada a los monoestables 4047 cuyas características se anexan en el Apéndice. Un monoestable se

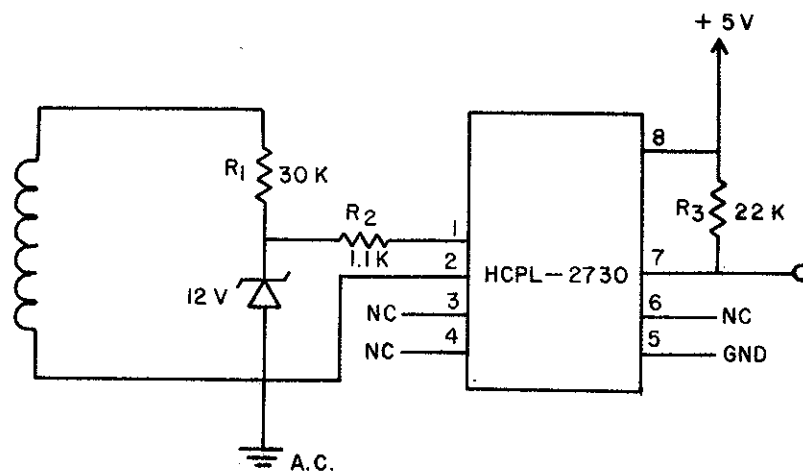


Fig. 7 Circuito sincronizador de cruces por 0 volts

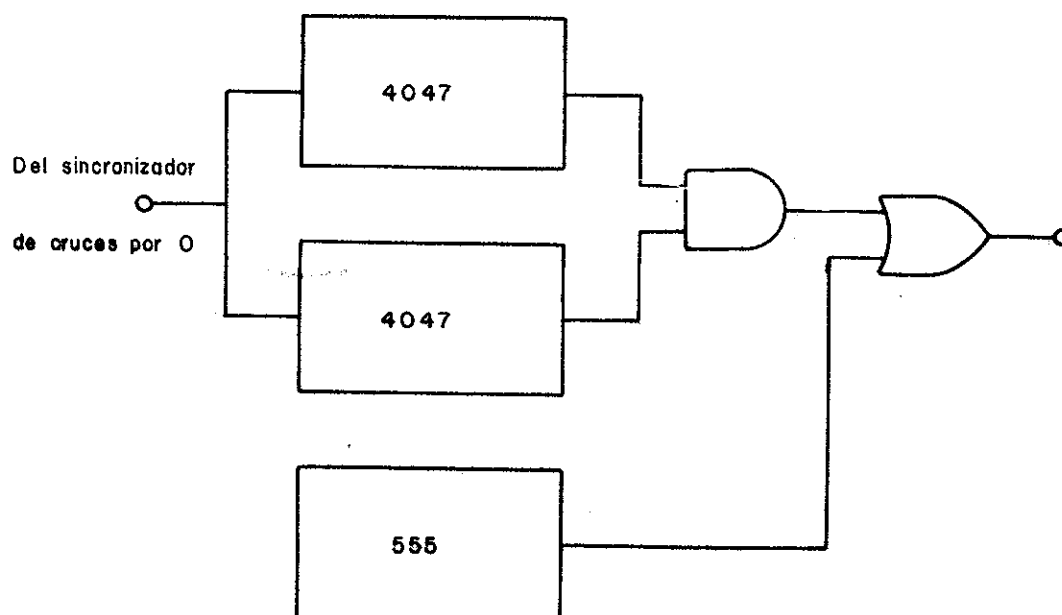


Fig. 8 Generador de pulsos

pone en estado lógico bajo durante .5 milisegundos cuando ocurre en la señal de entrada una transición de subida. El otro monoestable hace lo mismo si la transición es de caída (fig. 9). Por consiguiente el Y lógico con los dos monoestables 4047 produce una señal con ceros lógicos cada vez que ocurre en la señal del sincronizador de cruces por cero una transición de subida o de caída; es decir cuando la tensión alterna cruza por 0 volts. Finalmente el 0 lógico con las señales de salida de la compuerta lógica Y y el oscilador LM555, permite generar una señal con pulsos, únicamente cuando la tensión alterna cruza por 0 volts (fig. 10). La frecuencia de estos pulsos corresponde a la frecuencia del oscilador y es de aproximadamente 50 Khz.

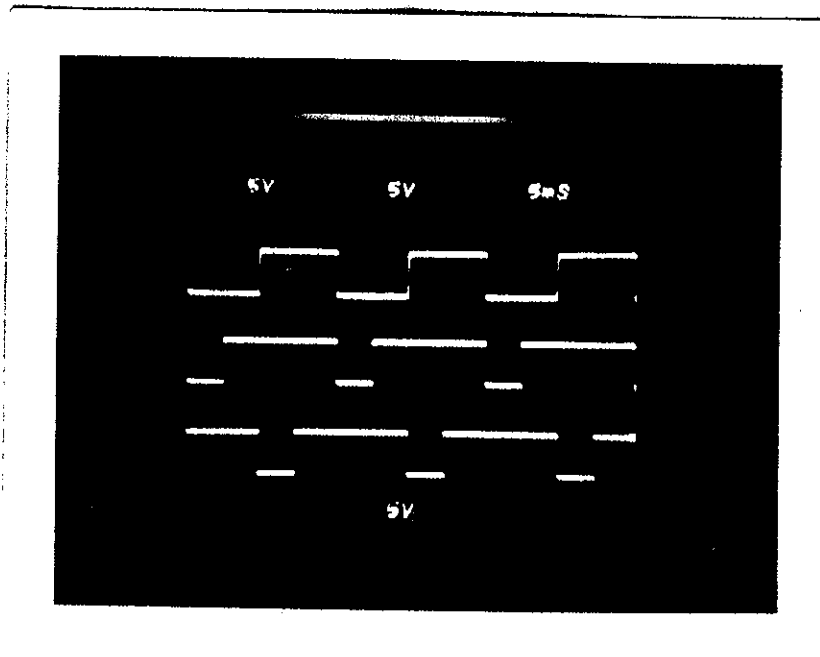


Fig. 9 Detección de cruces por 0 volts.

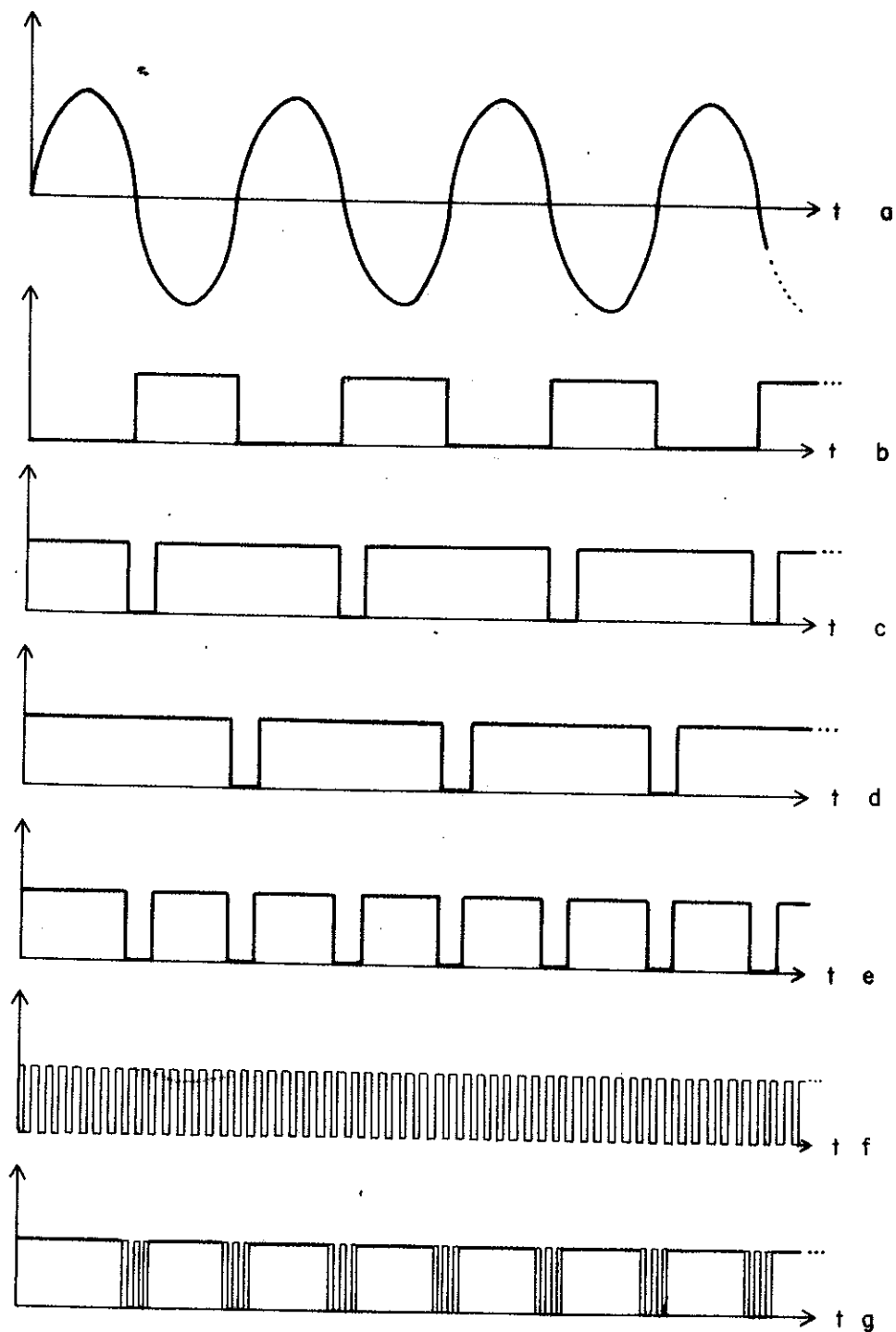


Fig.10 Diagramas de tiempo. a) corriente alterna, b) sincronía, y cruces por cero volts, c) pulsos bajos en las subidas de b, d) pulsos bajos en las caídas de b, e) AND lógico de c y d f) oscilador g) OR lógico de e y f; pulsos de disparo de SCRs.

b).- Selector de encendido/apagado y polaridad

Las señales de encendido/apagado y cambio de polaridad se reciben del circuito señalizador de muestreo (ver sección III.5) y alimentan al circuito lógico selector de encendido/apagado y de polaridad, el cual opera como una interfaz entre el generador de pulsos y el circuito amplificador de pulsos de disparo (fig. 13). La tabla de verdad que describe este circuito se muestra en la figura 12.

Análisis y operación.

La ocurrencia de un uno lógico en el bit de encendido/apagado ocasiona un uno lógico a la salida del circuito selector de encendido/apagado y polaridad, independientemente del estado lógico del bit de polaridad. Si el bit de encendido/apagado es un cero lógico, entonces dependiendo del estado lógico del bit de polaridad la señal del generador de pulsos aparecerá como salida en alguna de las dos terminales del circuito selector de encendido/apagado y de polaridad.

c).- Amplificación y aislamiento de Tiristores

Se utilizan transformadores de pulsos en las mallas de encendido de los tiristores para aislarlos eléctricamente

del circuito disparador. La corriente que enciende los tiristores llega a la malla gatillo-cátodo de cada uno de ellos por los secundarios de los transformadores de pulsos. Debido a que la corriente producida por inducción para disparar los tiristores, requiere un cierto valor que no puede proporcionar el generador de pulsos CMOS; fué necesario utilizar un circuito amplificador que permitiera elevarla. El circuito utilizado para este propósito fué el amplificador de corriente Darlington mostrado en la figura 11.

Análisis y Operación.

Cuando un nivel alto en la señal del generador de pulsos pasa a la base del transistor Q1, éste conduce y corta los transistores Q2 y Q3, y con ello el paso de corriente a las salidas de disparo Vo1 y Vo2. Cuando un nivel lógico bajo en la señal del generador de pulsos ocurre a la base del transistor Q1, éste se corta, activando así al circuito Darlington, y generando un flujo de corriente por los transformadores de pulsos.

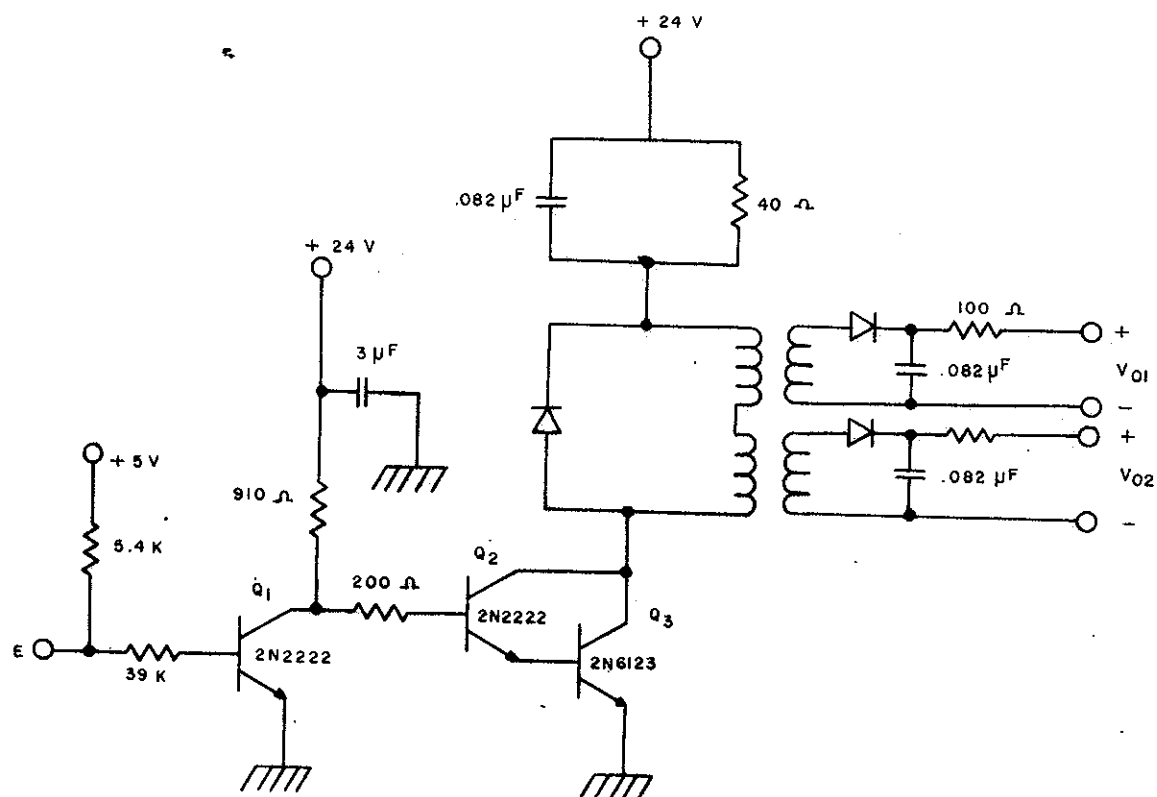


Fig. 11 Circuito de Amplificación y aislamiento de tierras

bit de encendido/apagado	bit de control de polaridad	función disparo puente de rectificación
0	0	positiva
0	1	negativa
1	0	apagado
1	1	apagado

Fig. 12 Tabla de verdad de las señales de control: encendido/apagado y polaridad.

III.3' CONNUTADOR DE POTENCIA.

El circuito conmutador de potencia transforma la tensión sinusoidal entregada por el selector de nivel de tensión en una tensión rectificadora y conmutada (fig. 3).

Análisis y Operación.

El conmutador de potencia consiste de dos puentes rectificadores de onda completa, formados con 4 parejas de tiristores. Uno realiza la rectificación positiva y el otro la negativa, permitiendo generar la corriente bipolar que se aplica al terreno. El rectificador positivo lo forman los tiristores 1a, 1b, 2a y 2b y el negativo los restantes, (fig. 14). La rectificación positiva en onda completa se logra de la manera siguiente: Cuando en el selector de nivel de tensión ocurre la polaridad positiva, se disparan los tiristores 1a y 1b. De igual manera los tiristores 2a y 2b se ponen en estado de conducción cuando se presenta una tensión negativa en el selector de nivel de tensión. La rectificación negativa en onda completa se hace de manera similar con los tiristores 3a, 3b, 4a y 4b, siendo 3a y 3b los que tienen la opción de conducir al presentarse la polaridad positiva en el selector de nivel de tensión, y 4a y 4b cuando dicha polaridad sea negativa. La conmutación de la señal rectificadora se logra alternando el encendido y apagado

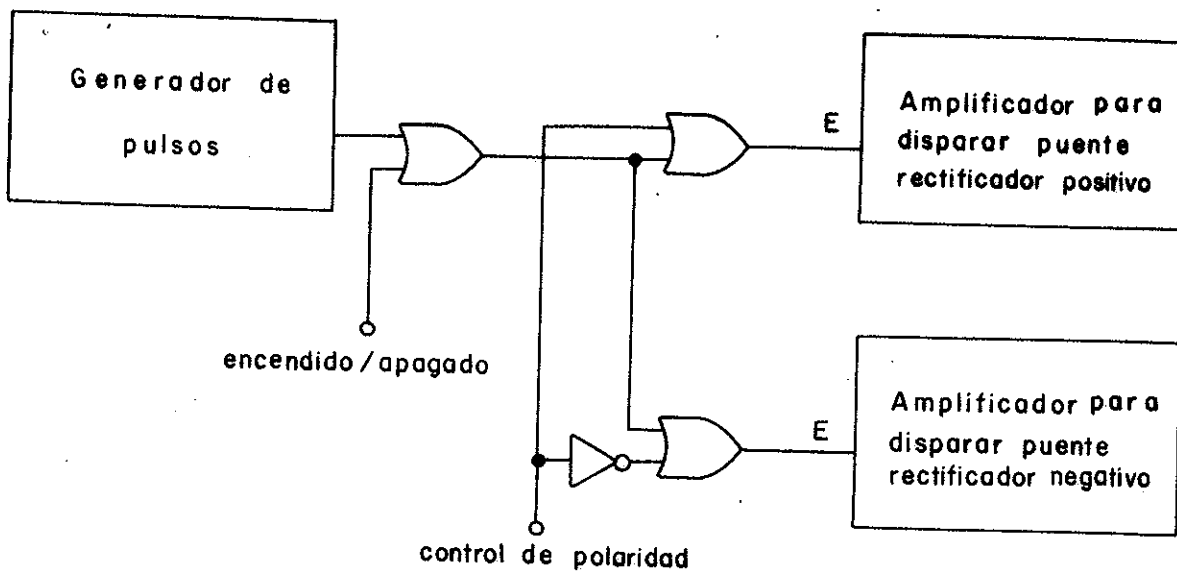


Fig. 13 Intertaz para control de encendido / apagado y polaridad de la tensión aplicada.

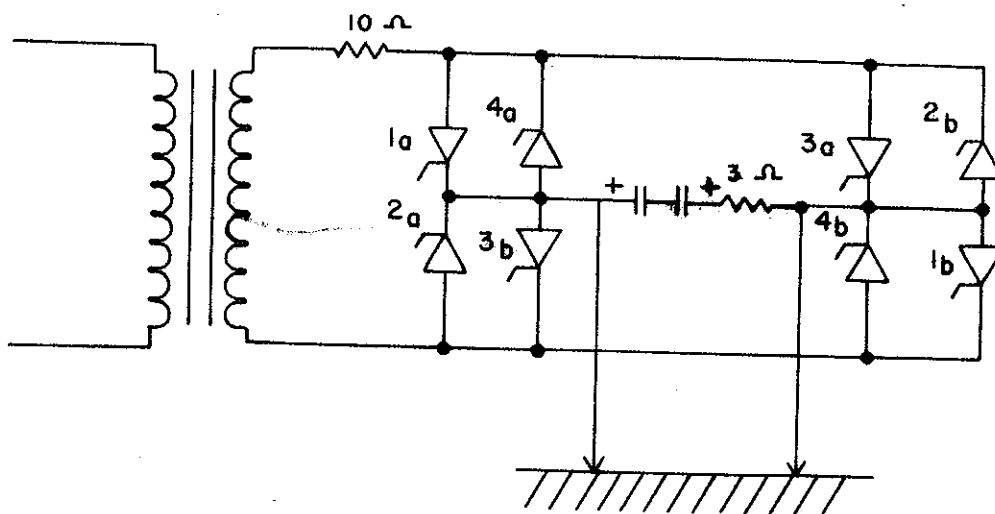


Fig. 14 Circuito conmutador de tensión

de los puentes rectificadores, al suministrarles o suspenderles los pulsos de disparo que los ponen en estado de conducción.

III.4 FILTRADO

La señal rectificada y conmutada que entrega el circuito conmutador de potencia se hace pasar por un filtro pasa bajas RC. La baja frecuencia y la alta tensión de la señal a filtrar (2000 volts máximo pico a pico), obliga a utilizar capacitores electrolíticos. El arreglo de capacitores en combinación serie paralelo (fig. 5), permite filtrar corriente bipolar, ya que funciona de la manera siguiente: cuando la tensión de la señal a filtrar es positiva, los capacitores polarizados negativamente actúan como corto circuito, permitiendo con ello un filtro RC para tensiones positivas. Análogamente cuando la polaridad de la tensión es negativa, los capacitores polarizados positivamente actúan como corto circuito, permitiendo filtrar la tensión negativa. Los capacitores utilizados en el arreglo son de 1800 microfaradios a 450 volts, lo cual permite un circuito equivalente de 2 capacitores de 1200 microfaradios a 1350 volts. La resistencia utilizada es de 2 ohms a 250 watts.

III.5 SEÑALIZACION DE MUESTREO.

Cada ciclo de tensión aplicada al terreno consta de dos semiciclos, uno positivo y el otro negativo y de un pequeño tiempo muerto de 1/60 de segundo. El señalizador de muestreo genera las señales de control de polaridad, tiempo muerto y en general la señalización que permite la toma de datos en los intervalos de muestreo requeridos. El circuito está formado por las básculas D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9 y circuitería asociada, (fig. 15). Este circuito se activa mediante dos señales provenientes de la microcomputadora., una de reloj y la otra de inicialización.

Análisis y operación

Inicialización. Un nivel lógico alto en la señal de inicialización mantiene el circuito apagado, y un cero lógico lo activa (fig. 16).

Reloj. La señal de reloj controla la frecuencia de la tensión aplicada al terreno, ya que 16 ciclos de reloj forman uno de tensión. La frecuencia de la señal de reloj proveniente de la microcomputadora se controla mediante un lazo de programación; lo que permite obtener tensiones a diversas frecuencias, desde un periodo mínimo de 1 segundo hasta uno máximo de 85 segundos.

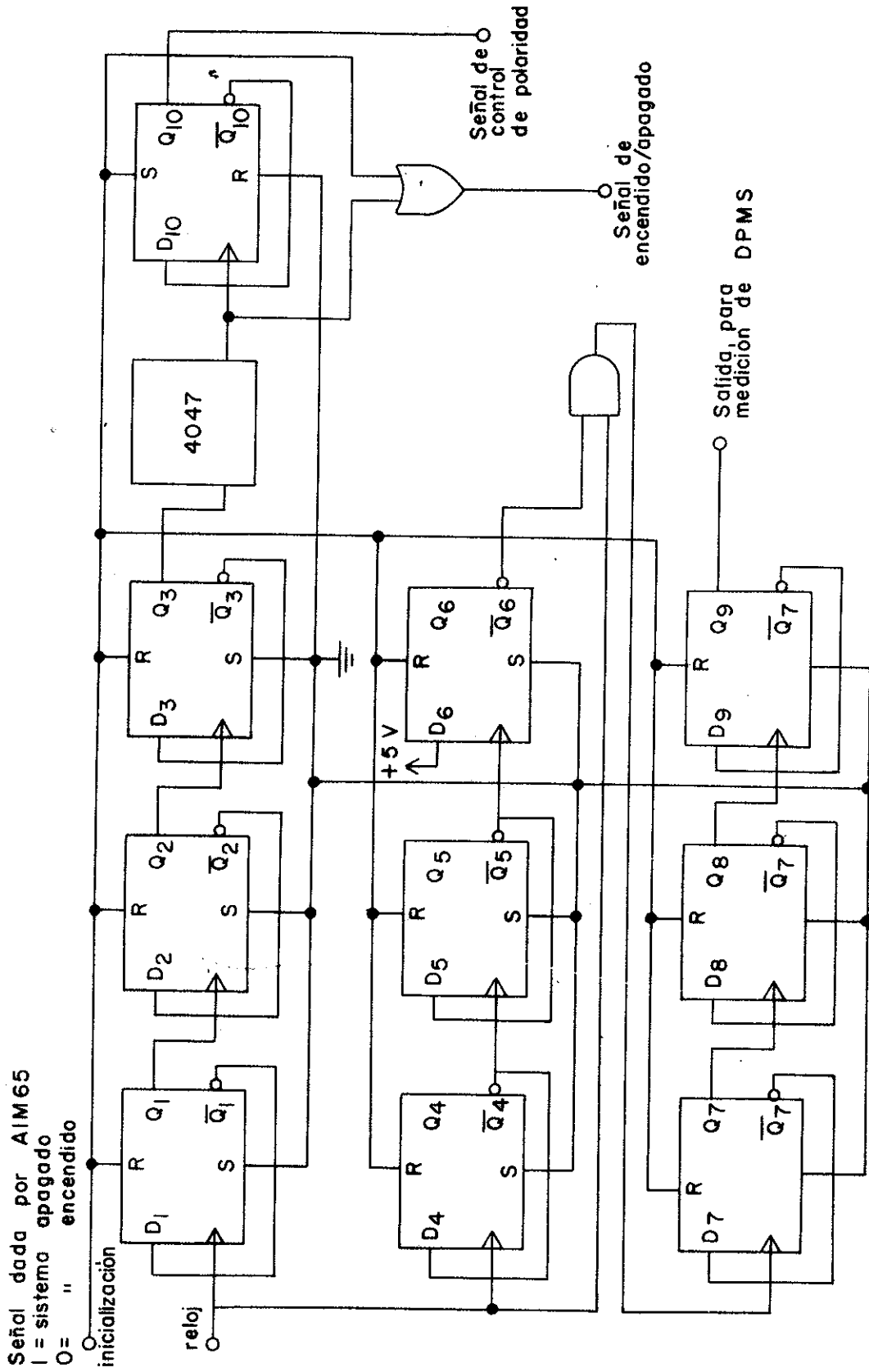


Fig. 15 Circuito señalizador de muestreo.

Tiempo muerto y control de polaridad.

Estas señales deben estar en sincronía, ya que antes de cada cambio de polaridad se consideró necesario hacer aparecer un tiempo muerto. Las básculas D1, D2 y D3 dividen por ocho la frecuencia de reloj para hacer el señalamiento del semiperíodo en la tensión y habilitar en las subidas de Q3 un monoestable 4047 que produce una señal lógica alta de 1/60 de segundo, la cual aparece a la salida del circuito lógico O independientemente de la otra entrada. Esta señal es enviada al selector de encendido/apagado y a su vez activa la báscula D10 que produce la señal de control de polaridad, (figs. 15 y 16).

Toma de datos.

En principio la frecuencia de reloj se divide en dos por la báscula D4 cuya señal negada Q4 habilita a la D5 y ésta a su vez a la D6, la cual al ser habilitada y por tener un uno lógico constante en su entrada, lo entregará a la entrada Y al ocurrir el tercer ciclo de reloj. Siendo la señal de reloj la otra entrada del circuito Y, a la salida tendremos una señal secundaria de reloj desfasada 3 ciclos respecto al inicio de la señal del reloj principal. El dividir por ocho la señal desfasada de reloj con las básculas

D7, D8 y D9 nos permite la obtención de niveles lógicos altos en los intervalos de muestreo $3/8 T$ a $7/8 T$ y de $11/8 T$ a $15/8 T$, los cuales señalan los intervalos de medición, (figs. 15 y 16). (T es el periodo).

III.6 ACTIVADOR DE MEDIDORES DIGITALES

Para iniciar la conversión analógico/digital en los medidores se requiere un pulso lógico alto con duración mínima de 1 microsegundo. La máxima tasa de muestreo de los medidores es de 40 muestras por segundo, (Ver apéndice). El circuito de disparo consiste en un aestable formado por el circuito integrado LM555 y componentes asociados, el cual entrega un pulso de 10 milisegundos de duración cada 50 milisegundos. Esto permite 20 conversiones por segundo. Finalmente un Y lógico entre este pulso y la señal indicadora de los intervalos de medición Q9 de las figuras 15 y 16, permite realizar las mediciones en los intervalos de muestreo de $3/8 T$ a $7/8 T$ y de $11/8 T$ a $15/8 T$.

III.7 INTERFAZ RECEPTORA DE DATOS

Los convertidores analógico/digital utilizados, necesitan para su control una señal, la de inicio de

conversión y entregan otra al finalizar la conversión. La presentación de los datos digitales la hacen en decimal cifrado en binario (BCD), utilizando para ello 13 bits, cuatro para unidades, cuatro para decenas, cuatro para centenas y uno para la unidad de millar. De lo anterior se puede observar que para hacer el control y la adquisición de datos de los dos medidores analógico/digital se requiere la disposición de 30 bits en los puertos de entrada y salida de la microcomputadora. La microcomputadora posee un total de 16 bits en sus dos puertos de entrada y salida, de los cuales ocupa 3 para generar la señal de reloj descrita en la sección III.5 y uno para la señal de encendido/apagado. Debido a que con los 12 bits restantes no es posible realizar el control y la adquisición de datos de los dos medidores, fué necesario construir la interfaz receptora de la figura 17. La interfaz está formada por 2 PIAs (Peripheral interfaz adapter), y acopladores ópticos HCPL-2730 para aislar eléctricamente las tierras entre la microcomputadora y los medidores. El PIA es un circuito integrado que posee 2 puertos de entrada y salida de 8 bits cada uno que se pueden comunicar con la microcomputadora. Entre otras cosas cuenta también con registros de control y direccionamiento de datos. A cada PIA se le dió un direccionamiento específico (Ver tabla II) para que la microcomputadora pudiera accederlo. Los datos analógicos y las señales de fin de conversión que presenta cada voltímetro digital son recibidas por los puertos de

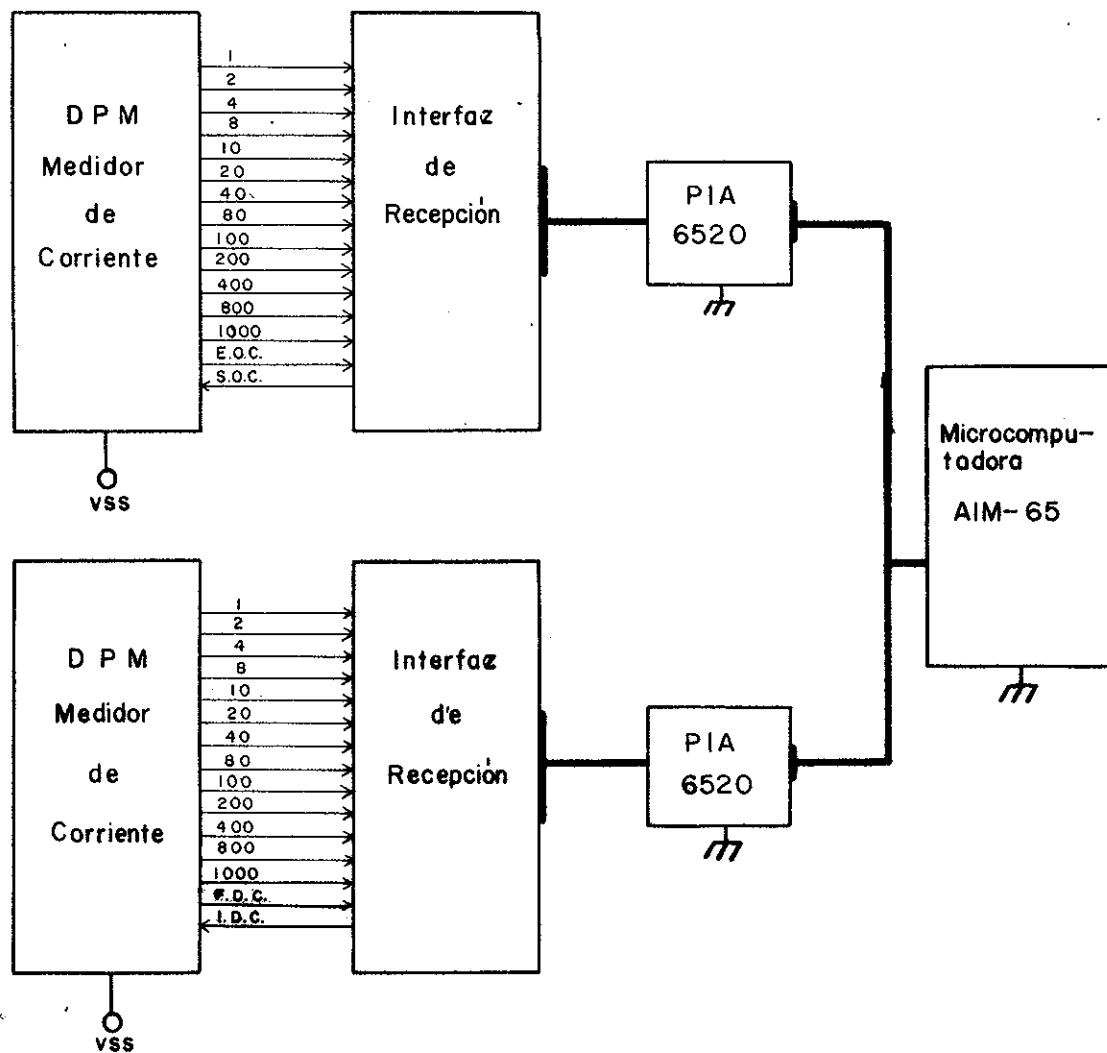


Fig. 17 Diagrama de bloques del sistema de recepción de datos.

entrada de los PIAs, y de allí rescatados por la microcomputadora. Las características de los PIAs se anexan en el Apéndice.

III.8 COMPENSADOR DE AUTOPOTENCIAL

El propósito de este circuito, es eliminar el potencial natural propio del terreno. La figura 18 muestra el diagrama del circuito en cuestión.

Análisis del circuito

Como se puede observar en la figura 18, mediante una tensión directa VDC proporcionada por una batería, se pretende eliminar hasta donde sea posible el autopotencial (V_i). El potencial recogido del terreno mediante los electrodos de potencial constituye la entrada al circuito. El selector S2 permite cambiar la polaridad de la tensión VDC, permitiendo una tensión de salida V_o dada por la expresión:

$$V_o = [R_i / (R + R_i)] VDC + V_i \quad (1)$$

Donde VDC=1.5 volts, R=100 ohms y R_i puede variar hasta 100 ohms., lo que permite una compensación de

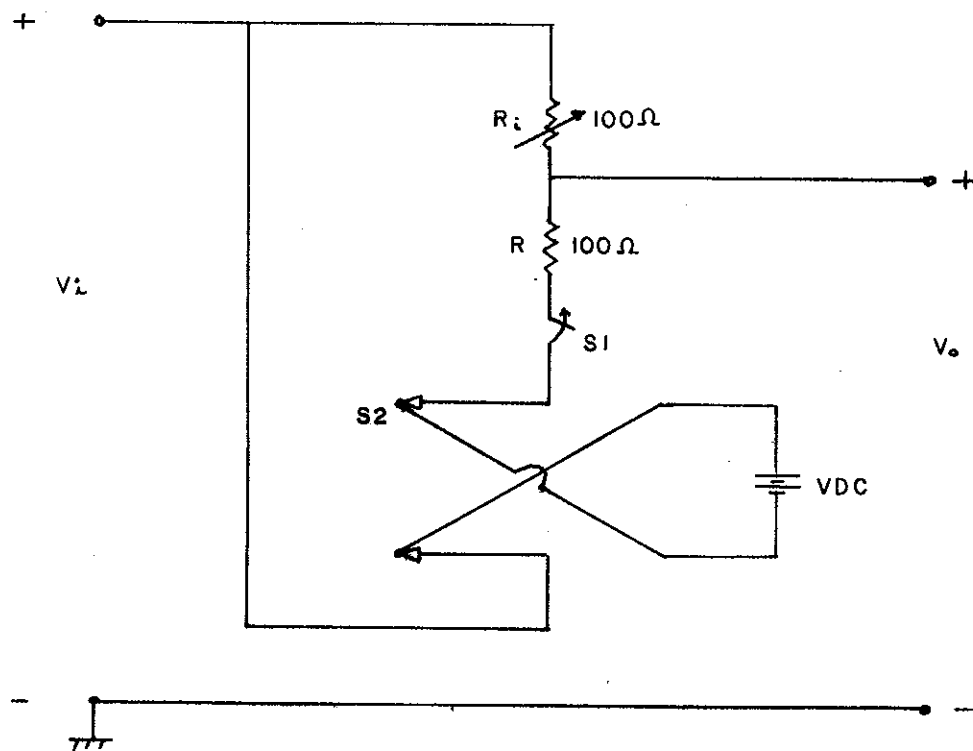


FIG. 18 CIRCUITO COMPENSADOR DE POTENCIAL NATURAL

autopotencial de hasta +75 milivolts en corriente directa.
La señal compensada en autopotencial V_0 , es el potencial a medir por el convertidor analógico/digital.

IV PROGRAMACION

Mediante rutinas escritas en lenguaje ensamblador y un programa principal en lenguaje BASIC se controla la frecuencia de la tensión aplicada al terreno y se realizan las funciones de recepción de datos. El programa principal en BASIC permite ejecutar las rutinas en lenguaje ensamblador y manejar los datos adquiridos en punto flotante, con lo que se facilita el cálculo de las resistividades aparentes. En el presente capítulo se hace una descripción de tales rutinas y de su interconexión con el programa principal.

IV.1 RUTINA CONTROLADORA DE PERIODO (RELOJ)

Rutina RELOJ. Esta rutina controla el periodo de la tensión aplicada al terreno, mediante una señal de reloj producida por dos contadores programables conectados en cascada.

Análisis y Operación.

El primer contador se programó para que cambie su estado lógico (alto o bajo) cada 5000 ciclos de reloj del AIM-65, cuya frecuencia de oscilación es de 1 Mhz. Esto permite en la salida del primero una señal de 10

milisegundos, que a su vez es la entrada al segundo contador. El segundo contador cambia su estado lógico de acuerdo al contenido en las localidades A008 (bits más significativos) y A009 (bits menos significativos). Estas localidades de memoria son cargadas desde el programa principal en BASIC, mediante la función POKE I,J., que cambia el número J de decimal a hexadecimal y lo deposita en la localidad de memoria I. El hacer programable el número de cuentas del segundo contador, permite generar señales de reloj de frecuencias variables que a su vez pueden variar el período de la tensión aplicada al terreno (fig. 14). El período mínimo de dicha corriente es de 1 segundo y el máximo de 50 segundos (fig. 19).

IV.2 RUTINA INIC

La rutina INIC realiza las siguientes funciones:

Habilita los 2 PIAs 6522 (Peripheral interface adapter) como puertos de entrada para recibir los datos de tensión y corriente.

Habilita los registros de control que permiten la detección de las señales de fin de conversión de cada medidor y de los períodos de muestreo.

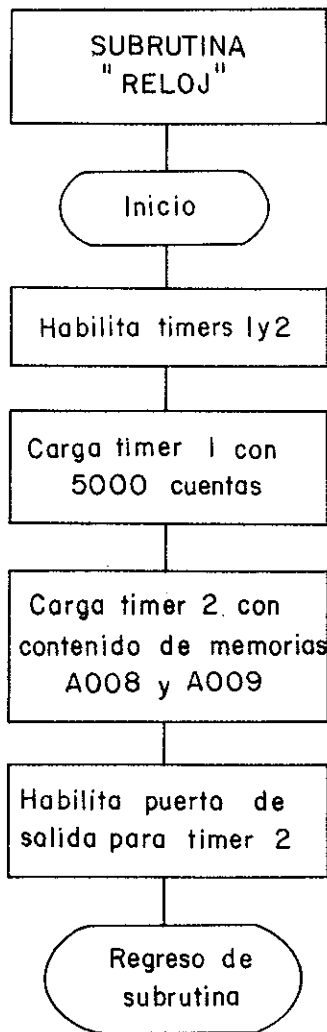


Fig.19. Diagrama de flujo de la subrutina RELOJ.

Finalmente pone en nivel lógico bajo la señal de inicialización que comienza el muestreo de los datos (fig. 20).

IV.3 RUTINAS ACUMULADORAS DE TENSION Y CORRIENTE

Rutina ACUMV. Esta rutina recibe y acumula los valores de tensión recogidos en un intervalo de muestreo y registra el número de muestras acumuladas.

Análisis y Operación.

La recepción de los datos se hace en las localidades de memoria 0F01 y 0F02 de la microcomputadora, quedando las unidades y decenas en la localidad 0F01, las centenas y unidad de millar en la 0F02. El dato recibido se transfiere para su suma a las localidades de memoria 0F04 y 0F05, depositando en la localidad de memoria 0F03 los bits de acarreo. La suma de los potenciales recibidos queda distribuida de la siguiente manera: unidades y decenas en la localidad 0F05, centenas y unidades de millar en la localidad 0F04, las decenas y centenas de millar en la localidad 0F03. El registro de las muestras almacenadas se conserva en la localidad de memoria 0F06 (fig. 21).

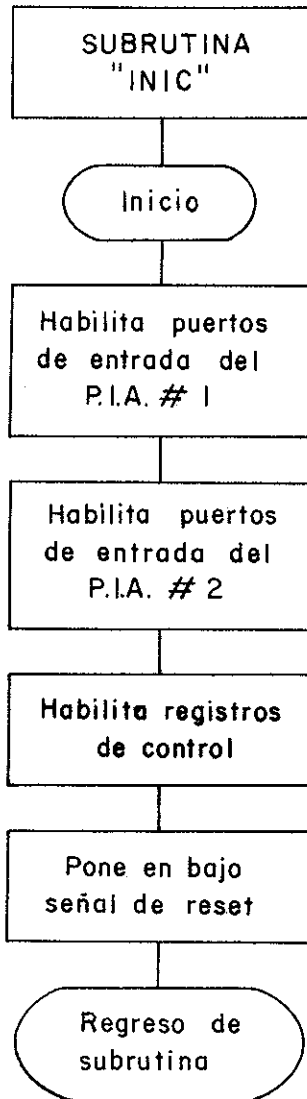


Fig.20 Diagrama de flujo de la subrutina INIC.

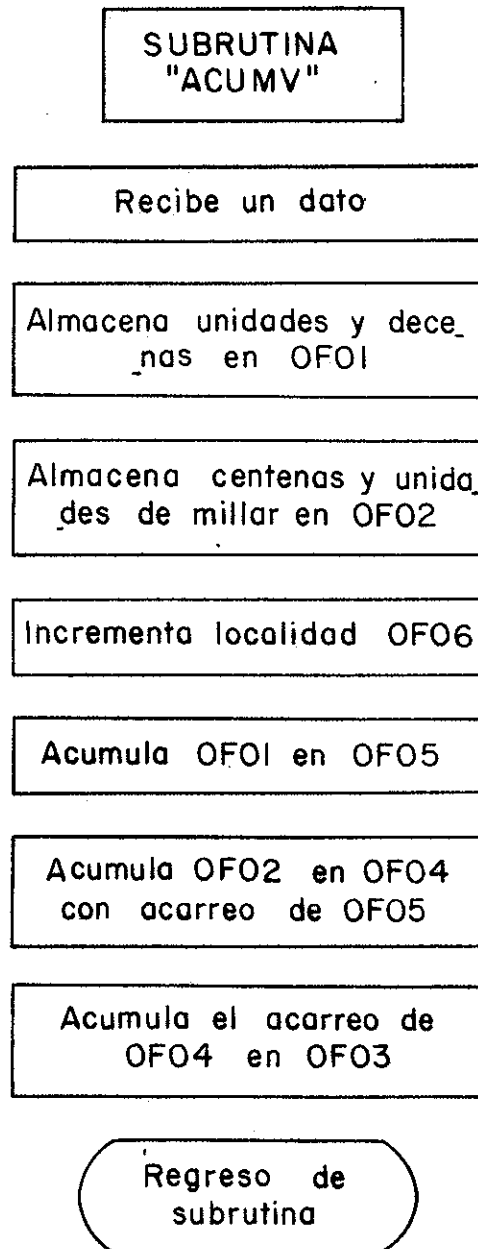


Fig. 21 Diagrama de flujo de la subrutina ACUMV.

Rutina ACUMC. Esta rutina recibe los datos de la corriente suministrada al terreno, los suma y registra la cantidad de muestras acumuladas. Su estructura y funcionamiento es completamente similar a ACUMV. Ordena los datos recibidos de la manera siguiente: las unidades y decenas del total de corriente acumulada en la localidad de memoria OFOB, las centenas y unidades de millar en OFOA y las decenas y centenas de millar en OFO9. El total de muestras colectadas lo registra en la localidad OFOC.

Rutina BCDVO. Los valores acumulados de tensión y corriente adquiridos por las rutinas ACUMV y ACUMC, son requeridos por el programa principal para calcular los promedios de tensión inducida y corriente entregada al terreno. La tarea de la rutina BCDVO es ordenar y convertir a código binario de decimalización los bits recogidos por la rutina ACUMV para que puedan ser manejados por el programa principal. Los cuatro bits más significativos son separados de los menos significativos y ordenados en distintas localidades de memoria. El orden de los datos quedó establecido de la siguiente forma: unidades, decenas, centenas, unidades de millar, decenas de millar y centenas de millar en las localidades de memoria OF12, OF11, OF10, OFOF, OFOE y OFOD respectivamente (Tabla II).

Rutina BCDCO. Realiza idéntica función que BCDVO pero con los datos de corriente acumulada. Las unidades, decenas, centenas, unidades de millar, decenas de millar y centenas de millar son almacenadas en las localidades de memoria OF18, OF17, OF16, OF15, OF14 y OF13 respectivamente.

IV.4 RUTINA DESPACHADORA DE TAREAS (SPRIN)

La rutina SPRIN es una rutina despachadora de tareas que controla la cantidad de los ciclos de tensión que se aplican al terreno, y vigila que la adquisición de datos se efectúe en los intervalos de muestreo preestablecidos (fig. 22).

Análisis y operación

Para efectuar la toma de datos dentro de los intervalos de muestreo, verifica constantemente la señal indicadora de los intervalos de muestreo (Q9 de la figura 16). La adquisición de datos de tensión y corriente la efectúa llamando repetidas veces a las rutinas ACUMV y ACUMC. El número de ciclos de tensión aplicada al terreno lo controla llevando la cuenta de las veces que ha ocurrido la señal indicadora de los intervalos de muestreo Q9, ya que ésta se presenta una vez por ciclo.

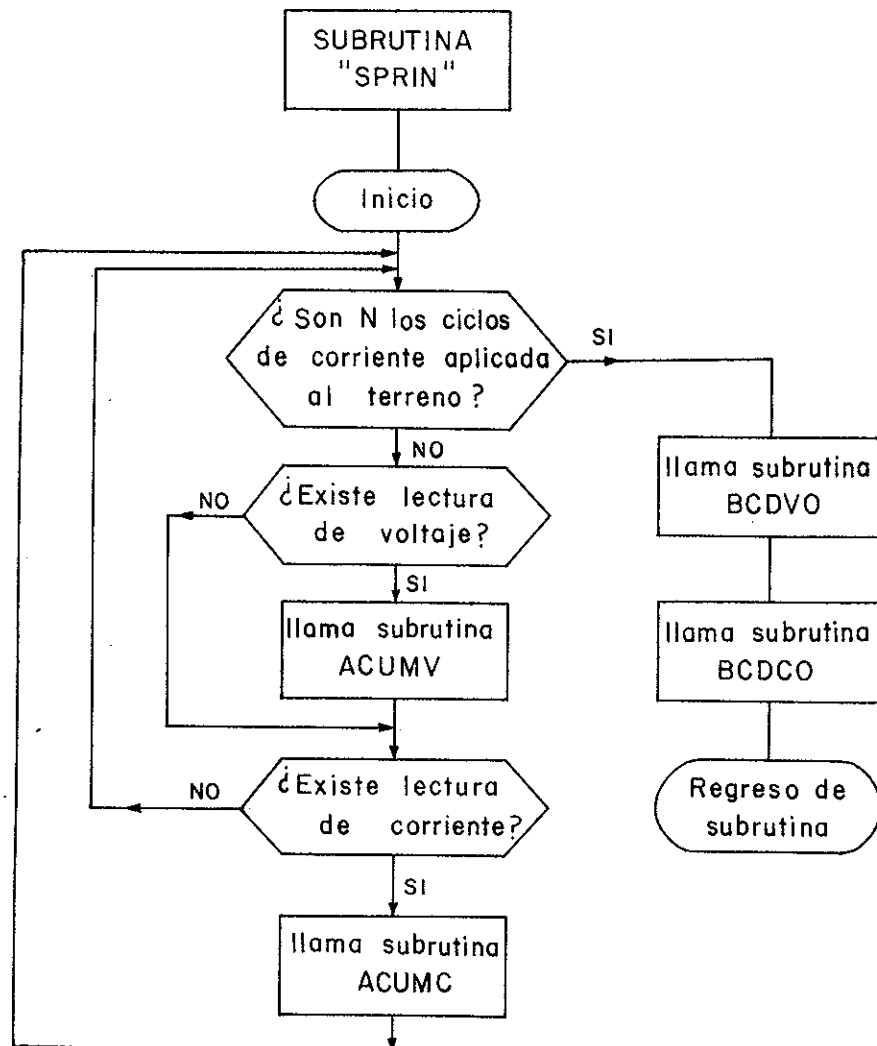


Fig. 22 Diagrama de flujo de la subrutina SPRIN.

Finalmente llama a las rutinas BCDVO y BCDCO cuando se han aplicado al terreno el número de ciclos de corriente deseados.

IV.5 RUTINA DE ENCENDIDO/APAGADO (RESET)

La rutina RESET, envía la señal lógica de apagado. Al finalizar la recolección de datos se le llama para la paralización del sistema.

Análisis y Operación.

Mediante el envío de un nivel lógico alto por la pata PB7 del VIA 6522, al bit de encendido/apagado, se realiza la completa paralización del sistema.

IV.6 PROGRAMA PRINCIPAL

Este programa ha sido escrito en lenguaje BASIC y desde él son accesibles todas las anteriores rutinas. El control de la tensión aplicada al terreno, la adquisición de datos y los cálculos de resistividades aparentes son funciones realizadas al ejecutar este programa.

Análisis y Operación.

A continuación se presenta la secuencia que sigue el programa y se hace una descripción del mismo.

a).- Cálculo del factor geométrico K. Para el conocimiento de la resistividad aparente del terreno se requiere el cálculo del factor geométrico K, (Eq. 6, Cap. VI). Este a su vez es función de las semiapertura $AB/2$ y $MN/2$ de los electrodos de aplicación y de medición de potencial, (fig. 24) y Eq. 5 Cap. VI. El programa se inicia pidiendo ambos valores y con ellos calcula dicho factor.

b).- Período de la corriente aplicada al terreno. Pide al operador el período T de la tensión que se aplicará al terreno. Conociendo este valor, el programa calcula el número de cuentas que será necesario depositar en las localidades A008 y A009 para cargar el segundo temporizador y generar la señal de reloj que a su vez permita obtener el período deseado. Ver diagramas de tiempo en figura 16.

c).- Número de ciclos de tensión aplicada al terreno. Pide el número de ciclos de tensión que será aplicada al terreno, para recoger datos de tensión y corriente únicamente durante esos ciclos. Para ello llama

repetidas veces a la rutina SPRIN. Los datos de tensión y corriente obtenidos con las rutinas ACUMV y ACUMC son convertidas a punto flotante para poder ser manejadas en BASIC. Esta conversión se realiza de la manera siguiente: La función $W=PEEK(I)$, convierte el contenido hexadecimal de la localidad de memoria I a punto entero y lo asigna a la variable W. Después se llama a una rutina propia del sistema operativo basic que reside en el AIM-65, la cual convierte de entero a punto flotante. Ambos valores de tensión y corriente en punto flotante son dimensionados para conservarlos en localidades de memoria, y posteriormente usarlos en el cálculo de las resistividades aparentes.

d).- Apagado del sistema. Después de la recolección de datos señalada en el paso c, llama a la rutina RESET para el apagado del sistema.

e).- Cálculo de las resistividades aparentes. Cuando el sistema ha sido apagado el programa se dedica a la tarea de calcular las resistividades aparentes y su promedio. Finaliza la ejecución del programa con la impresión de los resultados obtenidos. La figura 23 muestra el diagrama de flujo.

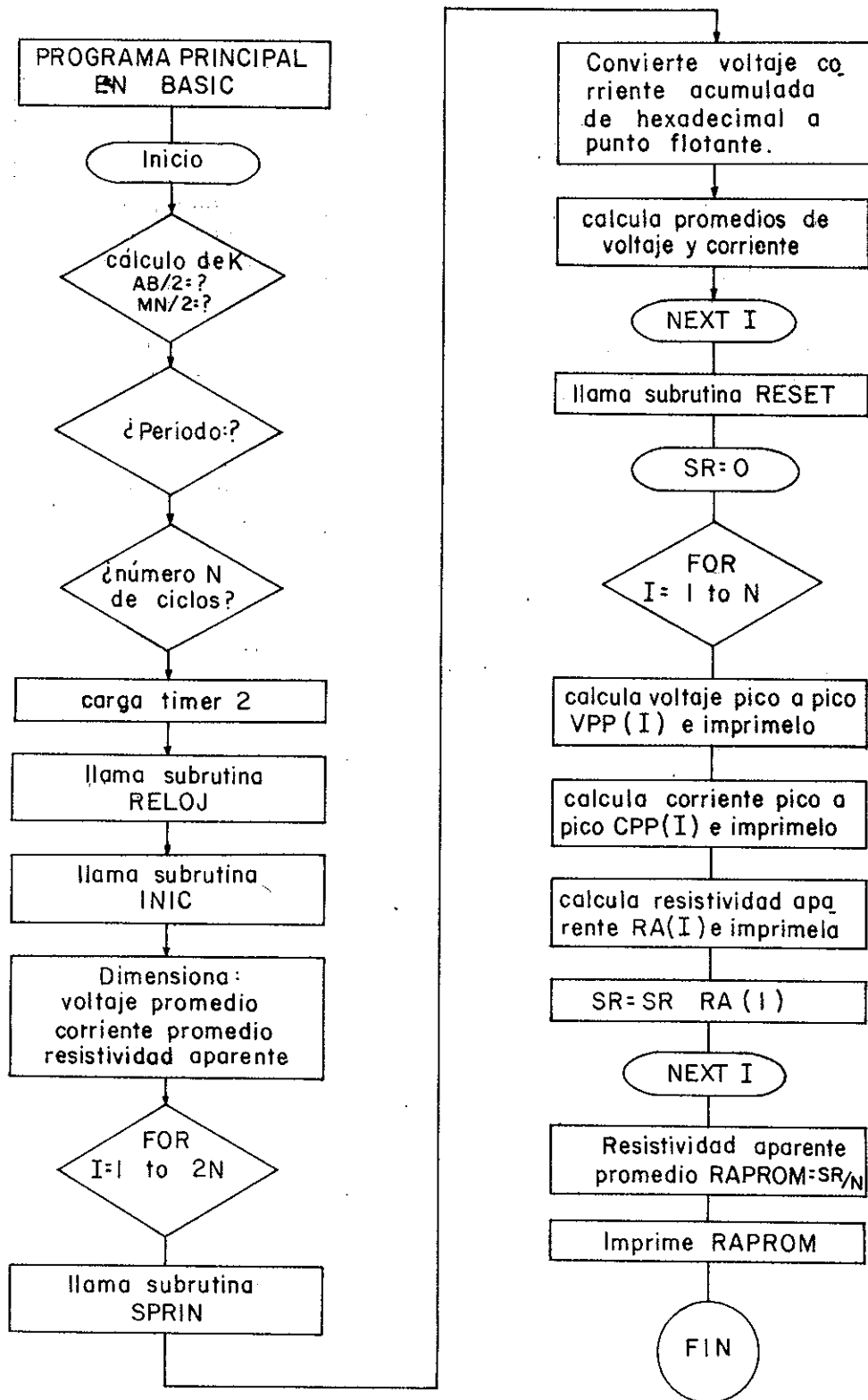


Fig. 23 Diagrama de flujo del programa principal en BASIC.

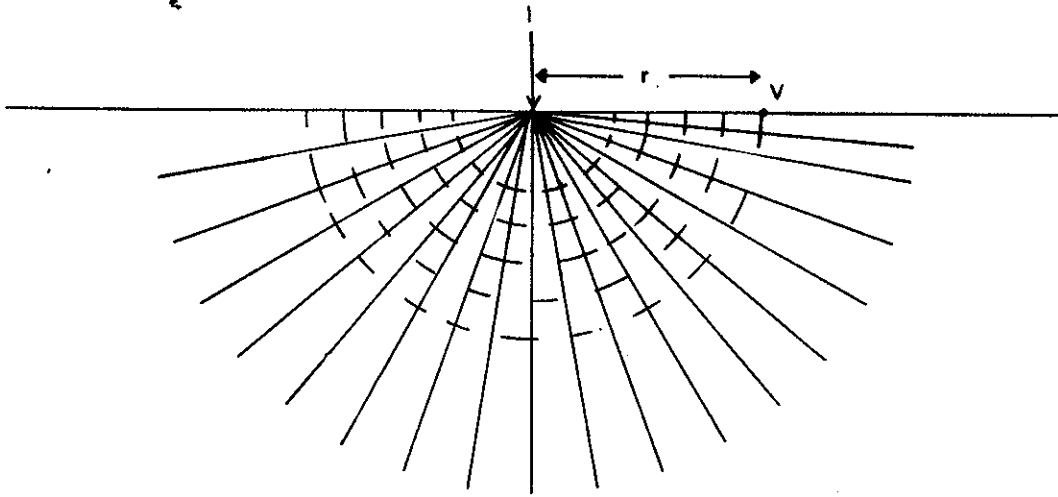


FIG. 36 LINEAS DE CORRIENTE — Y SUPERFICIES EQUIPOTENCIALES, DEBIDAS A UNA FUENTE PUN TUAL DE CORRIENTE.

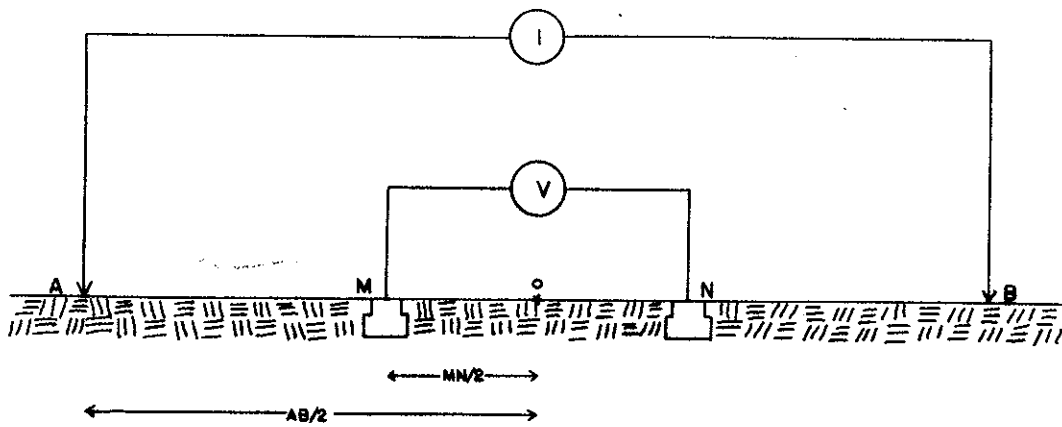


FIG. 24 ARREGLO SCHLUMBERGER ($AB/2$ $MN/2$)

IV.7 MAPA DE MEMORIAS

El programa principal y las rutinas fueron alojadas en las localidades de memoria mostradas en la Tabla I.

NOMBRE	INICIA	TERMINA
PROG. BASIC	0200	0B00
SUB. RELOJ	0D00	0D41
SUB. INIC	0D42	0D72
SUB. ACUMV	0D73	0DAB
SUB. ACUMC	0DAC	0DE4
SUB. BCDVO	0DE5	0E21
SUB. BCDCO	0E22	0E5E
SUB. SPRIN	0EF5	0EA9
SUB. RESET	0EAA	0EB2

Tabla I. Mapa de memoria del programa y las rutinas utilizadas.

En su funcionamiento las rutinas empleadas utilizaron algunas localidades de memoria para la realización de tareas específicas como se muestra en la Tabla II.

NOMBRE	LOCALIDAD	DESCRIPCION
RELOJ	A004 Y A005	CARGA CONTADOR No. 1
RELOJ	A008 Y A009	CARGA CONTADOR No. 2
INIC	8000	I/O PUERTO A PIA No. 1
INIC	8001	REGISTRO DE CONTROL PUERTO A PIA No. 1
INIC	8002	I/O PUERTO B PIA No. 1
INIC	8003	REGISTRO DE CONTROL PUERTO B PIA No. 1
INIC	9000	I/O PUERTO A PIA No. 2
INIC	9001	REGISTRO DE CONTROL PUERTO A PIA No. 2
INIC	9002	I/O PUERTO B PIA No. 2
INIC	9003	REGISTRO DE CONTROL PUERTO B PIA No. 2
ACUMV	0F01 Y 0F02	RECEPCION DE DATOS
ACUMV	0F03	CENTENAS Y DECENAS DE MILLAR DE LA SUMA DE TENSION
ACUMV	0F04	UNIDADES DE MILLAR Y CENTENAS DE LA SUMA DE TENSION
ACUMV	0F05	DECENAS Y UNIDADES DE LA SUMA DE TENSION
ACUMV	0F06	REGISTRA EL NUMERO DE LOS SUMANDOS DE TENSION
ACUMC	0F07 Y 0F08	RECEPCION DE DATOS
ACUMC	0F09	DECENAS Y CENTENAS DE MILLAR DE LA SUMA DE CORRIENTE
ACUMC	0F0A	CENTENAS Y DECENAS DE MILLAR DE LA SUMA DE CORRIENTE
ACUMC	0F0B	UNIDADES Y DECENAS DE LA SUMA DE CORRIENTE
ACUMC	0F0C	REGISTRA EL NUMERO DE LOS SUMANDOS DE CORRIENTE
BCDVO	0F0D	CENTENAS DE MILLAR
BCDVO	0F0E	DECENAS DE MILLAR
BCDVO	0F0F	UNIDADES DE MILLAR
BCDVO	0F10	CENTENAS
BCDVO	0F11	DECENAS
BCDVO	0F12	UNIDADES
BCDCO	0F13	CENTENAS DE MILLAR
BCDCO	0F14	DECENAS DE MILLAR
BCDCO	0F15	UNIDADES DE MILLAR
BCDCO	0F16	CENTENAS
BCDCO	0F17	DECENAS
BCDCO	0F18	UNIDADES

Tabla II. Localidades de memoria específicas.

V PRUEBAS DE LABORATORIO Y DE CAMPO.

En el presente capítulo se describen las pruebas preliminares de laboratorio y campo realizadas con el equipo a fin de verificar su funcionamiento. Los subsistemas que forman el equipo fueron probados individualmente antes de ser integrados a la totalidad del equipo en cuestión. Las pruebas que en este capítulo se mencionan se realizaron con el equipo totalmente integrado.

V.1 ENSAMBLADO DEL EQUIPO

El equipo quedó ensamblado de la manera siguiente: El transformador utilizado por el sistema de selección de nivel de tensión, debido a su peso (25 Kg. aproximadamente) y tamaño se montó individualmente en una caja de madera (fig. 25).

Los sistemas de rectificación y conmutación de potencia, medición y control y adquisición de datos se desarrollaron individualmente pero se integraron conjuntamente en un cajón grande también de madera, el cual tiene conexiones con el transformador elevador de tensión y el motor generador de energía. La figura 26 muestra el equipo en cuestión.

V.2 LECTURA Y ALMACENAMIENTO DE PROGRAMAS

Los programas mediante los que se gobierna el sistema de aplicación de tensión y adquisición de datos se grabaron en cintas magnéticas para audio. Estos programas son recuperados por la microcomputadora utilizando para ello una grabadora comercial portátil (fig. 27).

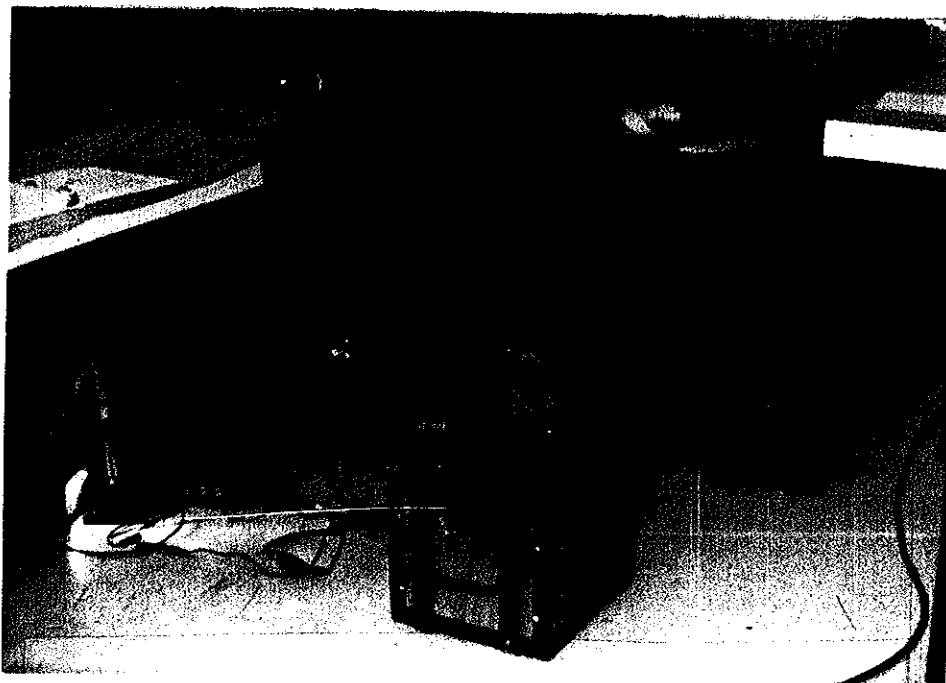


Fig. 25 Ensamblado del equipo

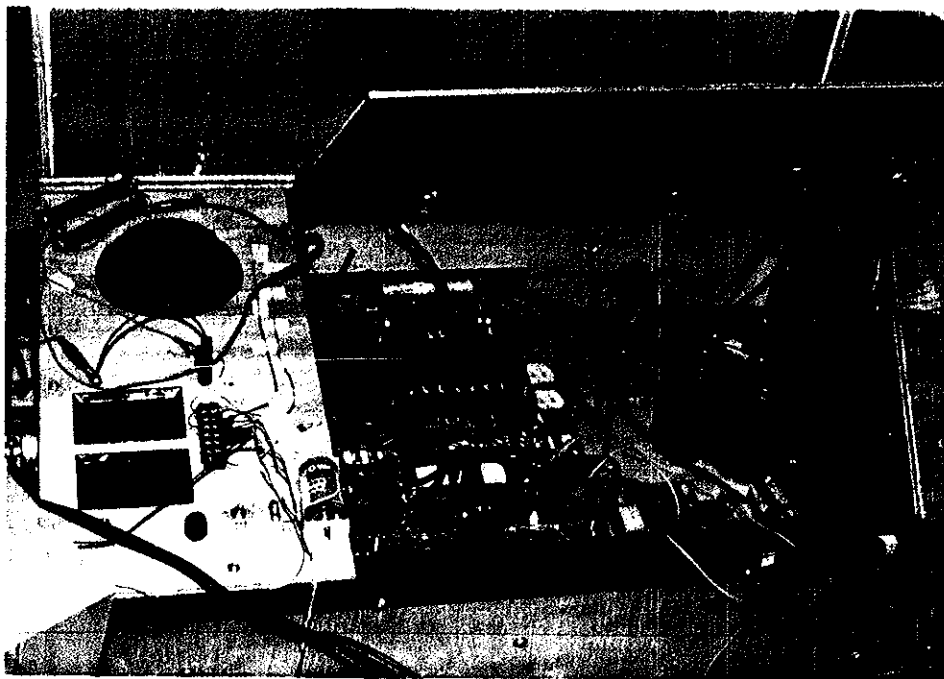


Fig. 2. Vista del rectificador y conmutador de potencia y de los medidores.



Fig. 3. Consola de control y adquisición de datos.

V.3 DESCRIPCIÓN DE PRUEBAS DE LABORATORIO

La prueba de laboratorio se llevó a cabo con el circuito que se muestra en la figura 28.

Descripción del experimento.

La tensión que se mide en el campo es en gran parte producida por el flujo que la corriente circulante en el terreno ocasiona. Sin embargo está también presente una tensión natural o autopotencial propio del terreno y tensiones originadas por corrientes telúricas, efectos electrocinéticos, ruidos industriales, etc. En la figura la tensión recogida en la resistencia de .2 ohms representa la tensión ocasionada por el flujo de corriente entregada al terreno más el autopotencial natural simulado con el divisor de voltaje formado por la celda de 1.5 volts y la resistencia variable de 100 ohms.

Secuencia del experimento.

a).- Compensación de la tensión natural.

Con el sistema encendido pero sin aplicar tensión a la carga resistiva se hicieron lecturas de la tensión producida a través de la resistencia de .2 ohms por la celda

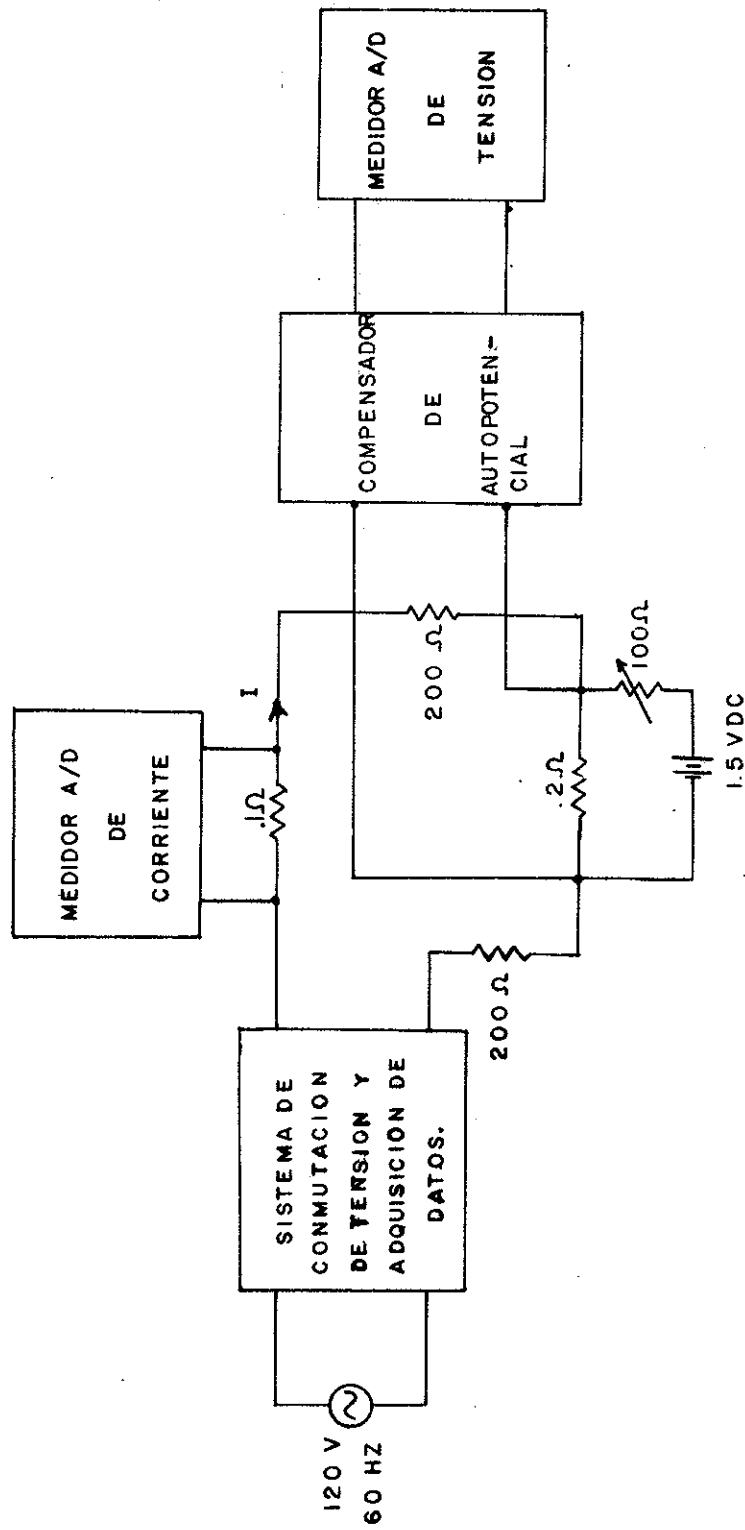


FIG. 28 ESQUEMA DE LA PRUEBA DE LABORATORIO

de 1.5 volts (autopotencial). Mediante el circuito compensador de tensión natural descrito en el capítulo III.7, se eliminó esta diferencia de potencial hasta observar lecturas de 0 volts en el medidor de tensión.

b).- Mediciones de tensión y corriente.

Una vez compensada a 0 volts la 'tensión natural', se aplicó tensión a diferentes frecuencias sobre la carga resistiva de 400 ohms, formada con las dos resistencias en serie de 200 ohms. Se pudo observar que las lecturas de tensión registradas correspondían al producto de la corriente leída en el medidor de corriente por la resistencia de .2 ohms. Esto quiere decir que la 'tensión natural' aunque estaba presente no contribuía a la caída de potencial en la resistencia de .2 ohms.

V.4 RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO

En el experimento se conmutó una tensión directa de alrededor de 500 volts, a una frecuencia máxima de 1 ciclo por segundo. La corriente pico a pico circulante en la resistencia de carga fué ligeramente mayor a 2 amperes. No fué posible conmutar una tensión mayor debido a que la máxima potencia a disiparse en cada resistencia de 200 ohms estaba

limitada a 225 wats. A continuación se presentan las gráficas del potencial observado en la resistencia de .2 ohms durante el experimento (figs. 29 - 34).

Estas gráficas nos muestran la forma de onda de la corriente entregada a la resistencia de carga. Se puede observar que la corriente es plana y que el rizado o componente de corriente alterna es pequeño. Cabe aclarar que los valores de corriente y tensión leídos en las carátulas de los medidores corresponden a los valores recogidos por la microcomputadora. No fué posible anexar estos datos, debido a que la microcomputadora hace la impresión en papel térmico y los caracteres no quedan tan firmemente impresos que se permita fotocopiarlos. Por otra parte la nitidez de la impresión se pierde con el transcurso del tiempo.

V.5 PROCEDIMIENTO DE CAMPO

La realización de un sondeo geoelectrico se hace con el fin de conocer la distribución en profundidad de la resistividad del subsuelo. Para ello se elabora una gráfica en doble papel logarítmico de la resistividad aparente del terreno contra la semiapertura de los electrodos de tensión aplicada ($AB/2$), (fig. 24). El abrir los electrodos de tensión aplicada permite que la corriente penetre a mayor

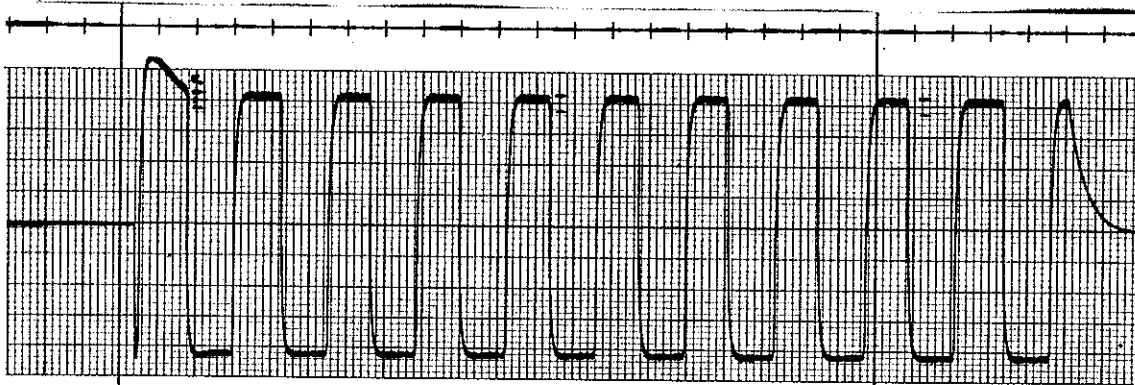
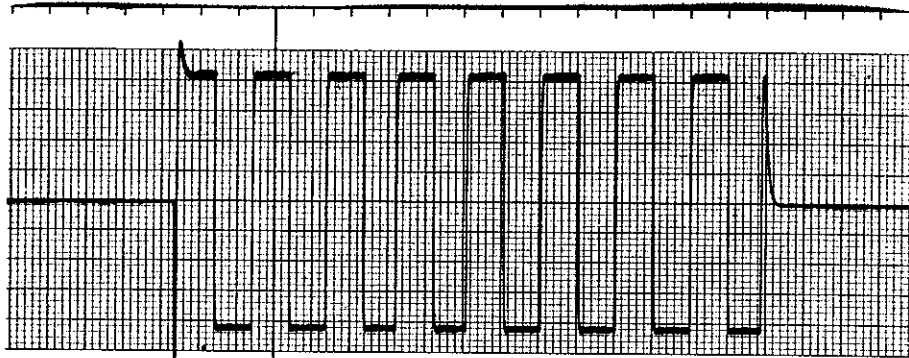


Fig. 29 Forma de onda del potencial para período de 1 seg. vel = 10 mm/seg.
sensib = 10 mv/div.



Gould Inc., Instrument Systems Division

Fig. 30 Forma de onda del potencial para período de 5 seg. vel = 2 mm/seg.
sensib = 10 mv/div.

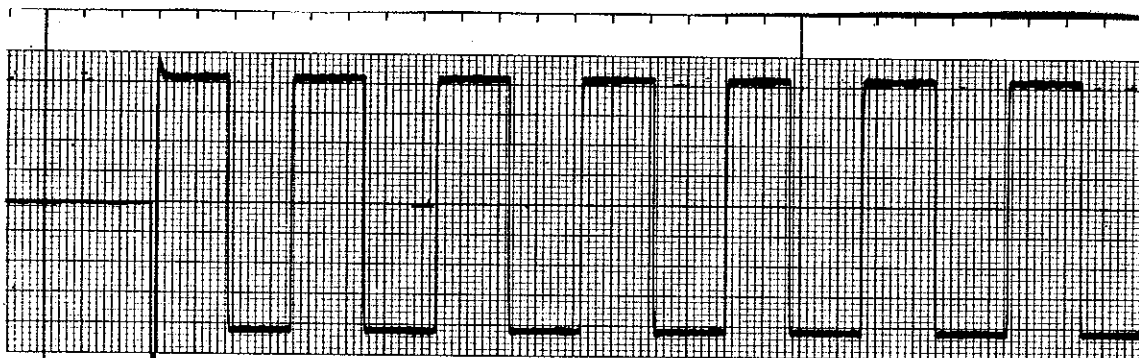


Fig. 31 Forma de onda del potencial para período de 10 seg. vel = 2 mm/seg.
sensib = 10 mv/div.

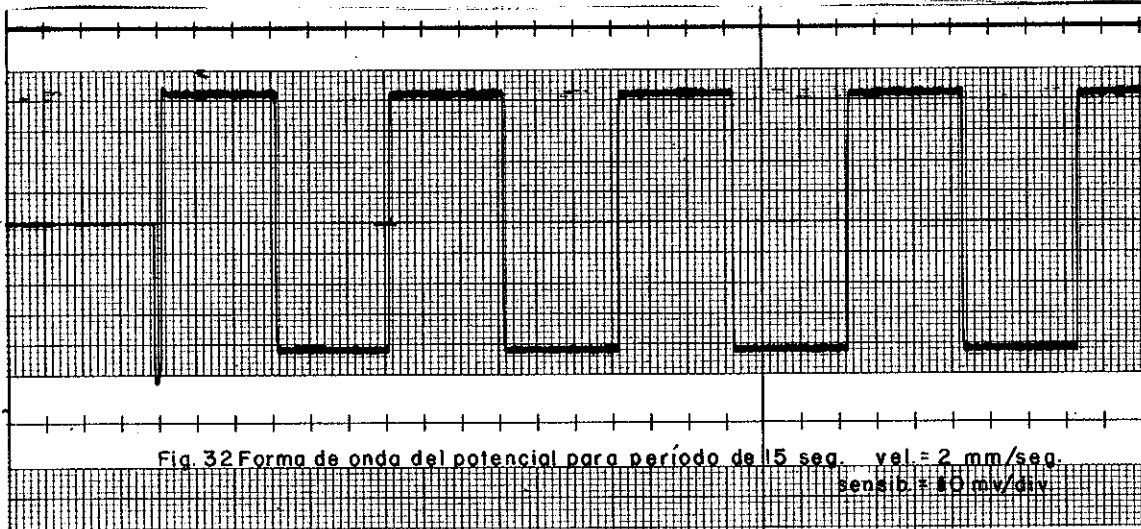
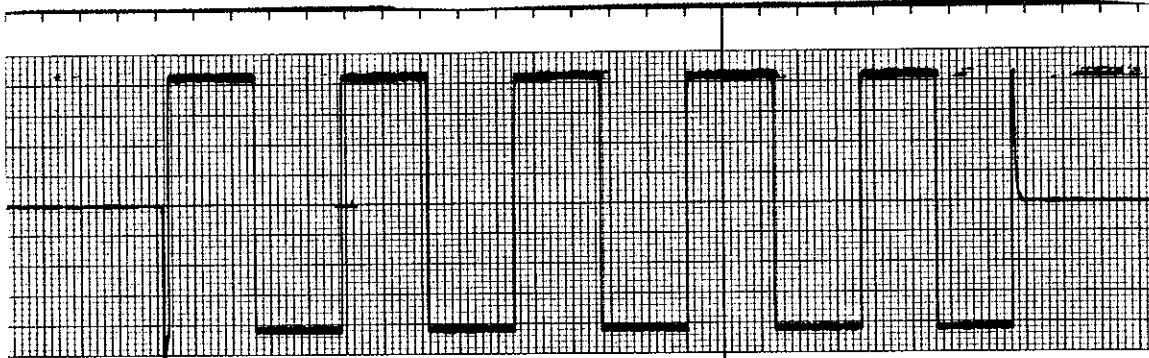


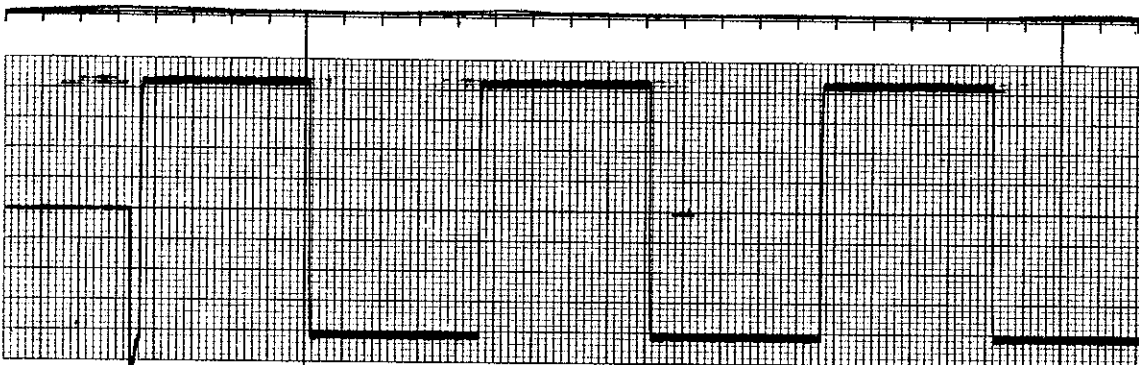
Fig. 32 Forma de onda del potencial para período de 15 seg. vel. = 2 mm/seg.
sensib. = 10 mv/div.



BRUSH ACCUCHART

Gould Inc., Instrument Sy

Fig. 33 Forma de onda del potencial para período de 16 seg. vel. = 2 mm/seg.
sensib. = 10 mv/div.



ems Division

Fig. 34 Forma de onda del potencial para períodos de 24 seg. vel. = 2 mm/seg.
sensib. = 10 mv/div.

profundidad y por consiguiente la resistividad aparente leída en la superficie, suministre información sobre la resistividad de estratos más profundos.

La corriente se hace pasar al terreno mediante barras de acero que se entierran aproximadamente medio metro. La diferencia de potencial que entre dos puntos de la superficie ocasiona el paso de esta corriente se lee a través de electrodos de porcelana no polarizables. Los electrodos contienen una solución electrolítica de sulfato de cobre para hacer buen contacto con el terreno (Telford y Geldart 1976). Las distancias a las que los electrodos de tensión aplicada son colocados, se eligen pensando en que la curva de resistividad aparente contra $AB/2$ se grafica en papel doble logaritmo. Es conveniente observar que durante el desarrollo del sondeo, la disposición de los electrodos y el tendido de los cables sea lo más rectilíneo posible debido a que el método Schlumberger es colineal. Por otra parte se evitan errores en el cálculo del factor geométrico K . También es de importancia asegurarse que los cables por donde pasa la corriente estén perfectamente aislados y no permitan fugas de corriente al terreno que originen potenciales adicionales.

El procedimiento a seguir en la toma de datos es el siguiente: primeramente y antes de iniciar cada medición se elimina hasta donde sea posible el autopotencial. Enseguida

se aplica tensión al terreno en forma tal que genere una corriente, que permita un nivel apreciable en los medidores de potencial. Los electrodos de tensión aplicada se van abriendo, dejando fijos los de medición de potencial hasta que el nivel generado en el terreno sea del orden del ruido eléctrico. Cuando esto ocurre se abren los electrodos de potencial medido de manera que aumente suficientemente esta lectura. Se continúa el sondeo abriendo los electrodos de tensión aplicada, repitiendo el proceso anterior. Para grandes espaciamientos en los electrodos de tensión aplicada, en ocasiones es necesario agregar agua salada con detergente al terreno donde se entierran las barras, a fin de disminuir las resistencias de contacto. Esto permite el suministro de mayores cantidades de corriente al terreno, aplicando la misma tensión en los electrodos.

V.6 PRUEBA DE CAMPO

Antes de hacer con este equipo el levantamiento de los datos de campo, se realizó en el Valle de Manadero una prueba preliminar en un punto sobre el cual se había hecho en 1979 el sondeo geoelectrico vertical S13. (Vázquez González, 1980).

V.7 RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LA PRUEBA DE CAMPO

Los resultados obtenidos en esta prueba preliminar se presentan conjuntamente con los obtenidos en el sondeo S13 de la citada referencia (Tabla III, fig. 35). Se puede observar en esta figura que el tipo de curva para la resistividad aparente en ambas gráficas es la misma y que conforme se aumenta la semiapertura en los electrodos de tensión aplicada las resistividades aparentes de ambas curvas tienden a ser las mismas. La diferencia que se nota con semiaperturas electródicas pequeñas se debe a diferencia en la resistividad de las capas superficiales. Este hecho podría ser un reflejo de la disminución en las lluvias con respecto a 1979.

AB/2 (m)	SONDEO S13 ρ_a (Ω -m)	PRUEBA ρ_a (Ω -m)
2.0	30.2	54.91
3.0	32.8	56.63
4.0	34.2	58.59
5.0	36.2	63.38
6.0	37.7	65.99
8.0	41.8	75.19
10.0	43.6	88.31
15.0	57.8	107.43
20.0	68.0	109.52
30.0	73.0	107.65
40.0	70.6	88.09
50.0	65.6	80.76
60.0	55.7	65.57
80.0	51.7	56.25
100.0	46.2	48.42

Tabla III. Prueba de campo y sondeo S13
 ρ_a es la resistividad aparente.

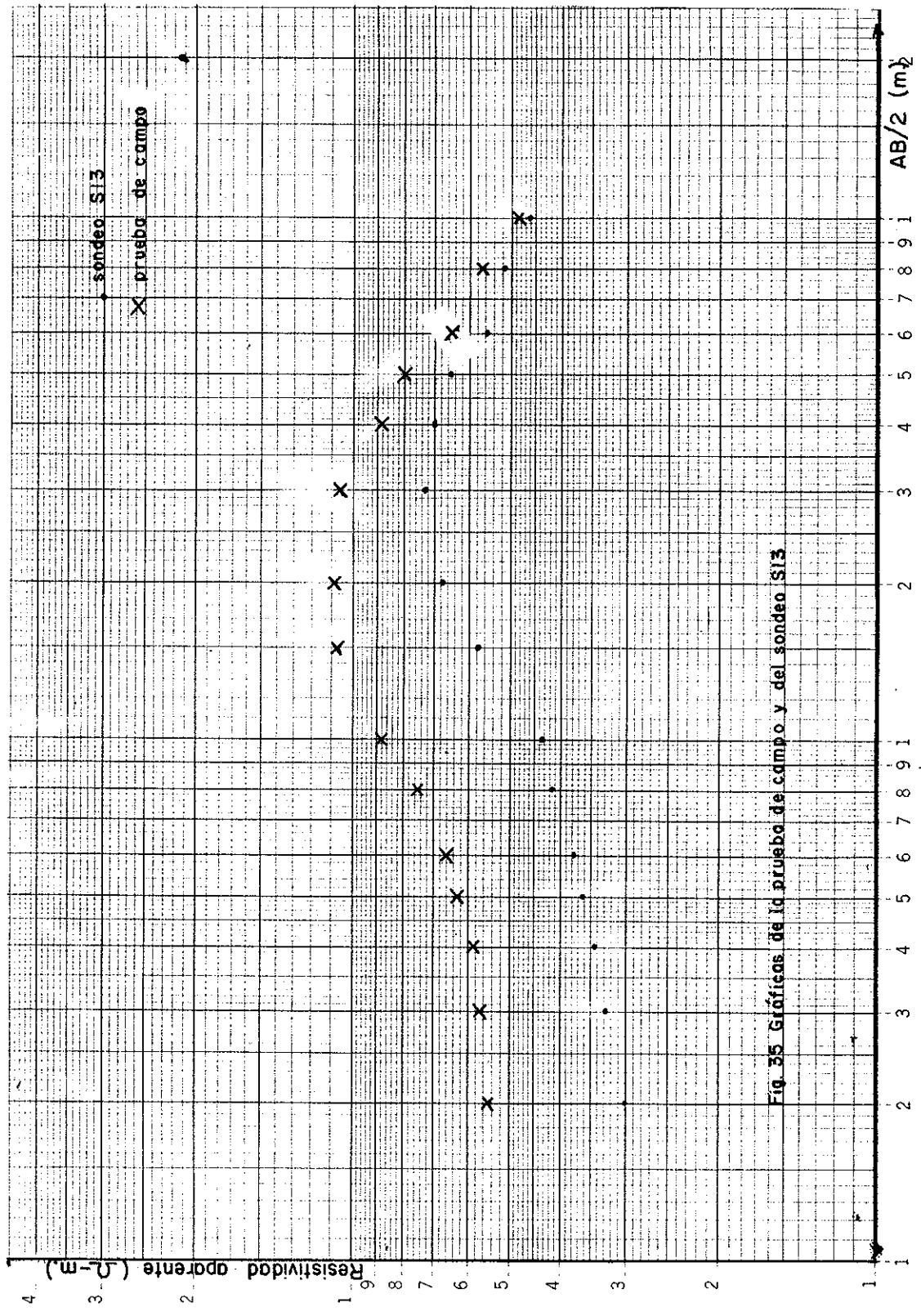


Fig. 35 Gráficas de la prueba de campo y del sondeo S13

VI DATOS DE CAMPO E INTERPRETACION.

VI.1 Teoría del método de la Resistividad

El potencial producido por una fuente puntual de corriente I , en un semiespacio homogéneo e isotrópico de resistividad ρ , está dado por.

$$V = I\rho/2\pi 1/r \quad (2)$$

Donde r es la distancia de la fuente al punto donde se mide el potencial (fig. 36).

Si la corriente I se introduce por medio de dos electrodos, una fuente A y un sumidero B , (fig. 24), la diferencia de potencial entre dos puntos de la superficie M y N , debida a este arreglo bipolar está dado por.

$$\Delta V = I\rho/2\pi \{(1/AM - 1/BN) - (1/AN - 1/BM)\} \quad (3)$$

Donde AM , AN y BM , BN son las distancias de los electrodos de tensión a la fuente y sumidero respectivamente.

Existen varios arreglos de electrodos A, B, M y N para estudios de resistividad. El arreglo utilizado en este levantamiento de campo fué el arreglo colineal de

Schlumberger, cuya configuración electródica se muestra en la figura 24. La razón de usar el arreglo de Schlumberger es que a diferencia de otros arreglos, para su interpretación existen en la literatura conjuntos de curvas teóricas patrón para diferentes secciones geológicas, y programas de computadora para interpretación directa e inversión en una, dos y tres dimensiones. Otra razón es la ventaja práctica que se presenta al levantar los datos de campo, ya que por cada medición no se requiere necesariamente un movimiento completo del arreglo. Esto se debe a que los electrodos de medición de potencial permanecen en general fijos.

Para el arreglo de Schlumberger la ecuación 3 se transforma en.

$$\Delta V = 2I\rho/\pi \{ (MN/2) / [(AB/2)^2 - (MN/2)^2] \} \quad (4)$$

Donde $AB/2$ y $MN/2$ son las semiapertura en los electrodos de aplicación y de medición de tensión respectivamente.

De acuerdo a la ecuación 4, la resistividad verdadera de un semiespacio homogéneo e isotrópico está dada por.

$$\rho = \{ [(AB/2)^2 - (MN/2)^2] / MN \} \Delta V / I \quad (5)$$

Para un medio inhomogéneo se define una cantidad ρ_a conocida como la resistividad aparente. La resistividad aparente de una formación geológica es igual a la resistividad verdadera de un medio homogéneo e isotrópico, en el cual para un arreglo electródico dado y una intensidad de corriente I , la diferencia de potencial ΔV , es igual a la obtenida en el medio inhomogéneo. Entonces según la ec. 5, la resistividad aparente está dada por.

$$\rho_a = K \Delta V / I \quad (6)$$

Donde K es un coeficiente geométrico que tiene dimensiones de longitud (m) y depende del arreglo usado.

VI.2 OPERACION DEL SISTEMA

Una vez que los programas que permiten el control del sistema han sido cargados en la microcomputadora, se puede pasar a hacer un sondeo geoelectrico para lo cual el sistema se opera de la manera siguiente.

i).- Primeramente se elimina hasta donde sea posible el autopotencial natural del terreno.

ii).- Enseguida se selecciona manualmente la

magnitud de tensión adecuada que se aplicará al terreno para efectuar la medición.

iii).- Y finalmente se corre el programa principal, el cual sigue los pasos mencionados en IV.6.

VI.3 PRESENTACION DE DATOS DE CAMPO

Se hicieron cinco sondeos geoeléctricos del tipo Schlumberger en el Valle de Maneadero, localizado a 12 Km. al sur de Ensenada, B.C. La apertura máxima total de los electrodos de aplicación de tensión fué de 1 Km. y de 100 m. para los electrodos de medición de potencial. La localización de los sondeos se muestra en la figura 37.

A continuación se presenta en las Tablas IV a VIII los datos de campo obtenidos en dichos sondeos.

VI.4 INTERPRETACION GEOELECTRICA

La interpretación geoeléctrica de los sondeos efectuados ha sido realizada mediante programas de computadora basados en el algoritmo de Pekeris, Ver el libro Geosounding Principles 1 de Otto Koefoed. La realización de

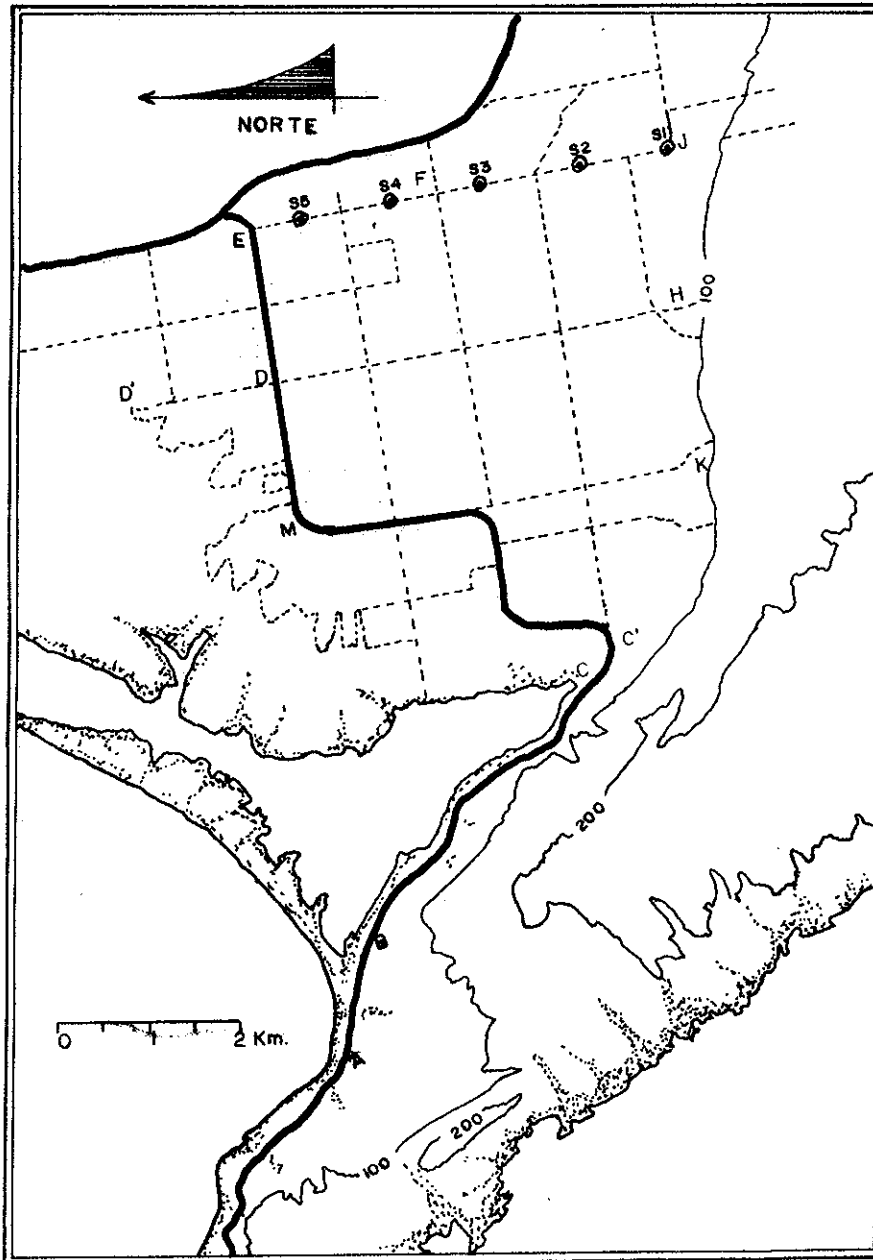


FIG. 37 LOCALIZACION DE SONDEOS GEOELECTRICOS DE RESISTIVIDAD.

Tabla IV Datos de campo del S.E.V. # 1

AB/2 (M.)	MN/2 (M.)	PERIODO (SEG.)	PROMEDIO (OHMS-M.)	DESV.-STAND. RELATIVA
2	.5	10	12.90	.09
2	.5	4	12.91	.06
3	.5	10	12.57	.09
3	.5	4	12.56	.05
4	.5	10	13.77	.10
4	.5	4	13.77	.11
5	.5	10	14.28	.12
5	.5	4	14.27	.12
6	.5	10	15.08	.10
6	.5	4	15.08	.14
8	.5	10	16.95	.17
8	.5	4	16.91	.06
10	.5	10	18.45	.03
10	.5	4	18.41	.18
15	.5	10	20.73	.24
15	.5	4	20.80	.26
20	.5	10	21.93	.11
20	.5	4	22.00	.69
30	.5	10	23.70	.71
30	.5	4	23.10	.88
40	5.0	10	27.48	.34
40	5.0	4	27.57	.41
50	5.0	10	29.38	.09
50	5.0	4	29.33	.20
60	5.0	10	31.87	.20
60	5.0	4	31.86	.19
80	5.0	10	37.50	.50
80	5.0	14	37.65	.60
100	5.0	12	42.27	.93
100	15.0	10	43.85	.13
100	15.0	4	43.71	.19
150	50:0	10	49.37	.17
150	50.0	4	49.19	.11
200	50.0	10	52.29	.10
200	50.0	4	52.08	.48
300	50.0	10	50.14	.37
300	50.0	4	50.28	.66
300	50.0	16	50.24	.34
400	50.0	10	49.68	.44
400	50.0	4	49.73	.68
500	50.0	10	57.15	.96
500	50.0	4	55.33	1.38

Tabla V Datos de campo del S.E.V. # 2

AB/2 (M.)	MN/2 (M.)	PERIODO (SEG.)	PROMEDIO (OHMS-M.)	DESV. STAND. RELATIVA
2	.5	10	121.74	.23
2	.5	4	122.43	.34
3	.5	10	147.81	.74
3	.5	4	147.26	.62
4	.5	10	154.03	1.57
4	.5	4	152.20	.27
5	.5	10	161.08	.41
5	.5	4	159.67	.10
6	.5	10	161.65	.74
6	.5	4	160.88	.47
8	.5	4	135.18	3.55
8	.5	10	135.98	2.15
10	.5	10	121.29	1.00
10	.5	4	124.83	1.64
15	5.0	10	92.18	.70
15	5.0	4	91.40	.53
20	5.0	10	68.49	1.96
20	5.0	6	61.11	.51
30	5.0	10	41.48	1.08
30	5.0	4	39.92	.85
40	5.0	12	36.81	2.29
40	5.0	8	39.09	.76
50	15.0	12	43.60	.39
50	15.0	6	43.47	.23
60	15.0	12	43.20	.30
60	15.0	6	43.24	.20
80	15.0	12	46.80	.71
80	15.0	6	46.60	.34
100	15.0	12	50.53	2.56
100	15.0	6	50.52	1.20
150	30.0	12	61.73	.15
150	30.0	6	60.80	.35
200	30.0	12	67.01	1.92
200	30.0	8	66.64	.58
300	30.0	16	70.13	.59
300	50.0	12	68.31	.14
300	50.0	6	67.91	.34
400	50.0	12	77.39	1.28
400	50.0	6	77.20	.719
500	50.0	16	79.02	1.15

Tabla VI Datos de campo del S.E.V. # 3

AB/2 (M.)	MN/2 (M.)	PERIODO (SEG.)	PROMEDIO (OHMS-M.)	DESV. STAND. RELATIVA
2	.5	10	107.02	.30
2	.5	4	106.54	.07
3	.5	10	128.00	.03
3	.5	4	128.00	.14
4	.5	4	146.29	.06
4	.5	10	146.88	.04
5	.5	4	164.43	.04
5	.5	10	164.77	.08
6	.5	4	188.37	.06
6	.5	12	189.06	.04
8	.5	12	225.36	.04
8	.5	4	224.30	.03
10	.5	12	237.46	.04
10	.5	4	236.00	.05
15	.5	12	227.18	.04
15	.5	4	225.77	.09
20	.5	4	206.25	.05
20	5.0	8	194.91	.03
30	5.0	12	155.76	.90
30	5.0	4	157.34	.16
40	5.0	4	125.71	.07
40	5.0	12	127.36	.06
50	5.0	12	84.17	.16
50	15.0	4	89.01	2.73
60	15.0	8	75.51	.45
60	15.0	12	75.71	.05
80	15.0	4	47.01	.25
80	15.0	12	47.69	.06
100	15.0	4	40.06	.25
100	15.0	12	40.47	.07
150	15.0	10	38.75	.18
150	15.0	16	38.93	.19
150	30.0	4	34.37	.20
150	30.0	16	34.85	.28
200	30.0	6	38.06	.54
200	30.0	12	39.12	1.52
300	50.0	6	49.50	1.12
300	50.0	10	49.95	.97
400	50.0	4	59.71	1.71
400	50.0	10	61.83	.62
500	50.0	16	78.59	.32
500	50.0	4	77.54	2.79

Tabla VII Datos de campo del S.E.V. # 4

AB/2 (M.)	MN/2 (M.)	PERIODO (SEG.)	PROMEDIO (OHMS-M.)	DESV. STAND. RELATIVA
2	.5	10	414.56	.37
2	.5	4	419.25	.34
3	.5	10	536.84	.13
3	.5	4	548.74	.19
4	.5	10	568.19	.28
4	.5	4	563.97	.40
5	.5	10	569.82	.19
5	.5	4	567.54	.16
6	.5	10	549.71	.47
6	.5	4	547.35	.46
8	.5	10	484.49	.25
8	.5	4	481.57	.14
10	.5	10	423.35	.21
10	.5	4	425.40	.15
15	.5	10	302.69	.05
15	.5	4	300.15	.11
20	.5	10	236.07	.75
20	.5	4	234.73	.42
30	.5	10	140.15	.29
30	.5	4	140.30	.75
30	5.0	10	147.75	.22
30	5.0	4	146.67	.11
40	5.0	10	84.12	.10
40	5.0	4	84.64	.06
50	5.0	10	56.46	.36
50	5.0	4	56.23	.97
60	5.0	10	45.58	.27
60	5.0	4	45.22	.81
80	5.0	10	33.61	.87
80	5.0	4	33.45	.96
100	5.0	10	28.51	.22
100	5.0	4	28.46	1.12
150	30.0	10	28.86	.39
150	30.0	4	29.15	.67
200	30.0	10	28.88	.61
200	30.0	4	29.29	.38
250	30.0	10	29.69	.48
250	30.0	10	29.80	.30
300	30.0	4	31.71	1.36
300	50.0	10	32.75	.94
400	50.0	10	37.98	1.23
400	50.0	4	37.65	2.40
500	50.0	10	43.40	.80
500	50.0	4	43.41	2.35

Tabla VIII Datos de campo del S.E.V. # 5

AB/2 (M.)	MN/2 (M.)	PERIODO (SEG.)	PROMEDIO (OHMS-M.)	DESV. STAND. RELATIVA
2	.5	10	276.77	1.09
2	.5	4	272.17	.40
3	.5	10	328.51	.42
3	.5	4	313.21	.58
4	.5	10	329.86	.47
4	.5	4	321.50	.39
5	.5	4	317.14	.43
5	.5	10	315.59	.60
6	.5	10	297.08	.18
6	.5	4	294.83	.24
8	.5	10	275.06	.42
8	.5	4	274.91	.27
10	.5	10	245.34	.05
10	.5	4	244.08	.07
15	.5	4	140.64	.40
15	1.5	10	141.01	.19
20	1.5	10	90.08	.74
20	1.5	4	89.40	.36
30	1.5	10	42.23	.66
30	1.5	4	42.13	.44
30	10.0	10	61.78	.54
30	10.0	4	61.29	.37
40	10.0	10	42.78	.23
40	10.0	4	42.32	.23
50	10.0	10	32.04	.48
50	10.0	4	32.61	2.48
60	10.0	10	24.55	.32
60	10.0	4	25.01	4.42
80	10.0	10	18.55	1.47
80	10.0	6	18.54	1.13
100	10.0	10	16.63	1.15
100	10.0	6	16.47	2.28
150	30.0	10	16.16	1.20
150	30.0	6	15.75	1.21
200	50.0	10	18.43	2.39
300	50.0	10	25.48	3.04
400	50.0	10	34.14	2.14

estos programas fué llevada a cabo por el Ing. Juan Manuel Espinoza Cardeña como trabajo de Tesis de Licenciatura.

La interpretación geoelectrica obtenida se presenta en la Tabla IX.

SONDEO	CAPA	RESISTIVIDAD (OHMS-METRO)	ESPESOR (METROS)
1	1	22.0	0.32
	2	12.5	4.0
	3	27.5	26.0
	4	61.5	
2	1	102.0	0.99
	2	194.95	4.85
	3	35.24	40.89
	4	88.63	
3	1	72.0	1.20
	2	328.0	11.80
	3	34.0	165.0
	4	180.0	
4	1	280.0	0.59
	2	625.0	6.45
	3	75.0	22.33
	4	22.19	120.62
	5	63.22	
5	1	175.0	0.61
	2	368.0	4.69
	3	72.0	12.72
	4	14.0	138.0
	5	90.0	

Tabla IX. Interpretación geoelectrica

A continuación se presenta en las figuras 38 a 42 las curvas de resistividad aparente de los datos de campo y del modelo geoelectrico interpretado.

La figura 43 muestra el perfil geoelectrico obtenido con los datos de la tabla IX. De este perfil se observa que a profundidades someras se localiza una gruesa capa conductora, confinada entre dos medios resistivos. El resistivo superior está formado por capas delgadas de distintas resistividades con inhomogeneidad lateral. El resistivo inferior presenta las resistividades mostradas en el perfil. No es posible dar más detalles sobre éste, debido a que no se logró una mayor penetración en los sondeos. El resistivo superior está formado por arenas, limos y gravas las cuales se pueden ver superficialmente en la región. La capa conductora corresponde a un acuífero confinado, formado por gravas y arenas, saturadas de agua fresca.

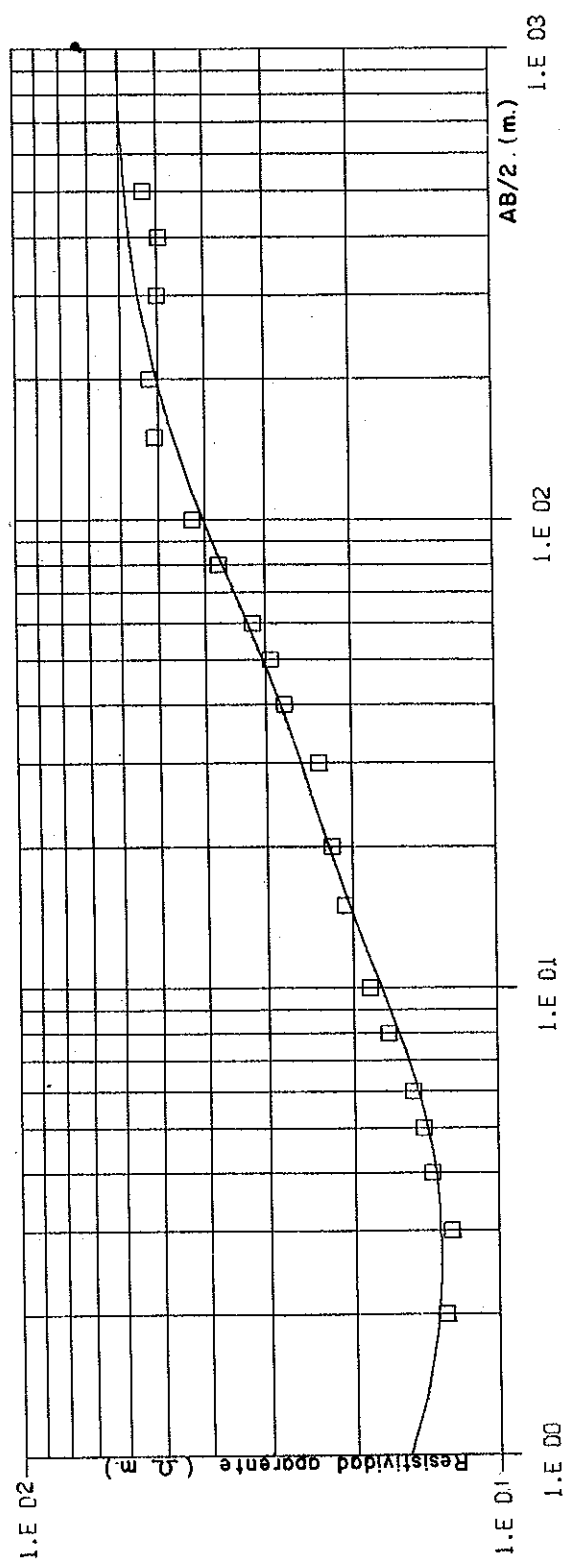


Fig. 38 S.E.V. No. 1
 □ datos de campo
 — modelo propuesto

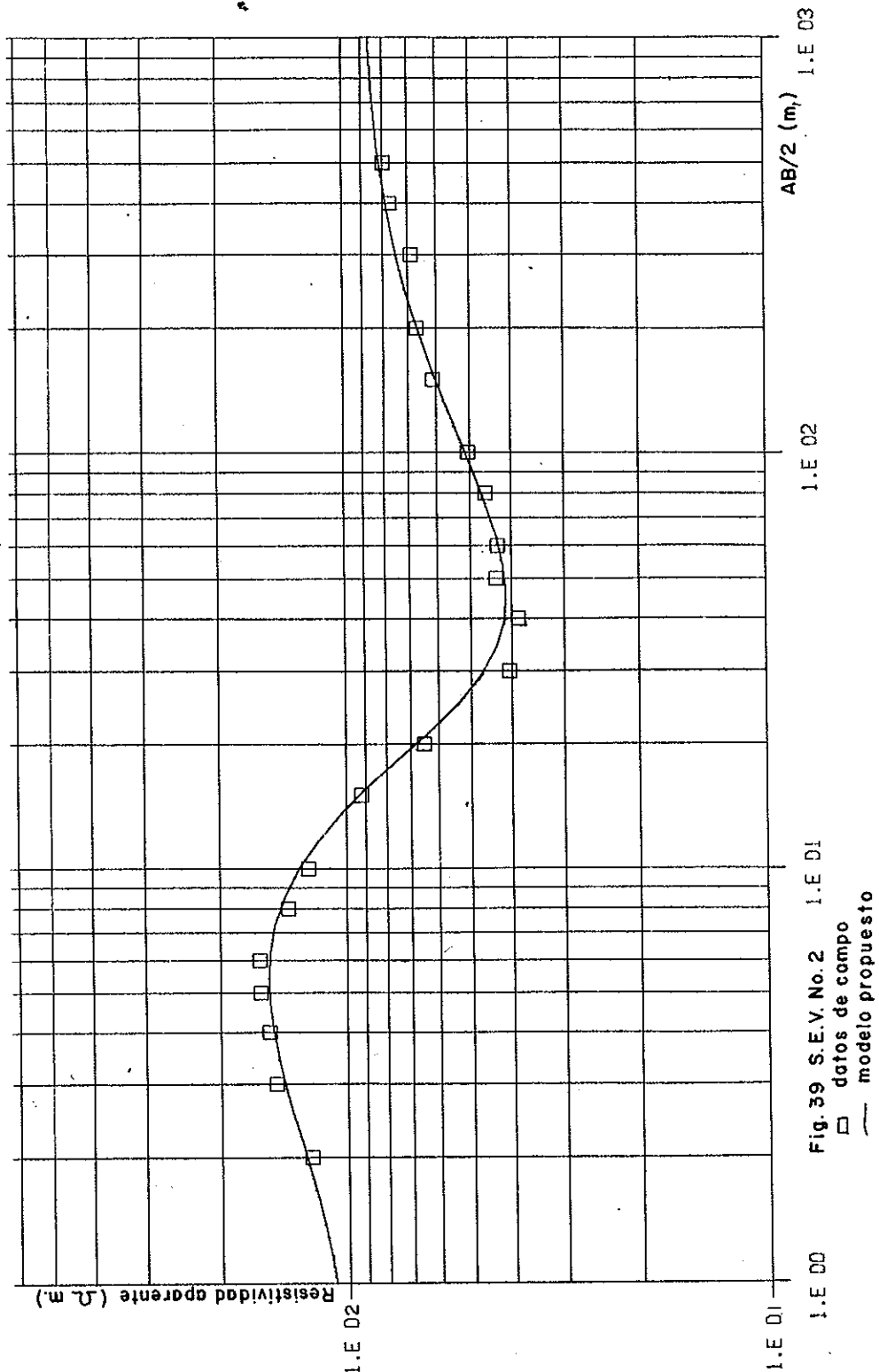


Fig. 39 S.E.V. No. 2
□ datos de campo
— modelo propuesto

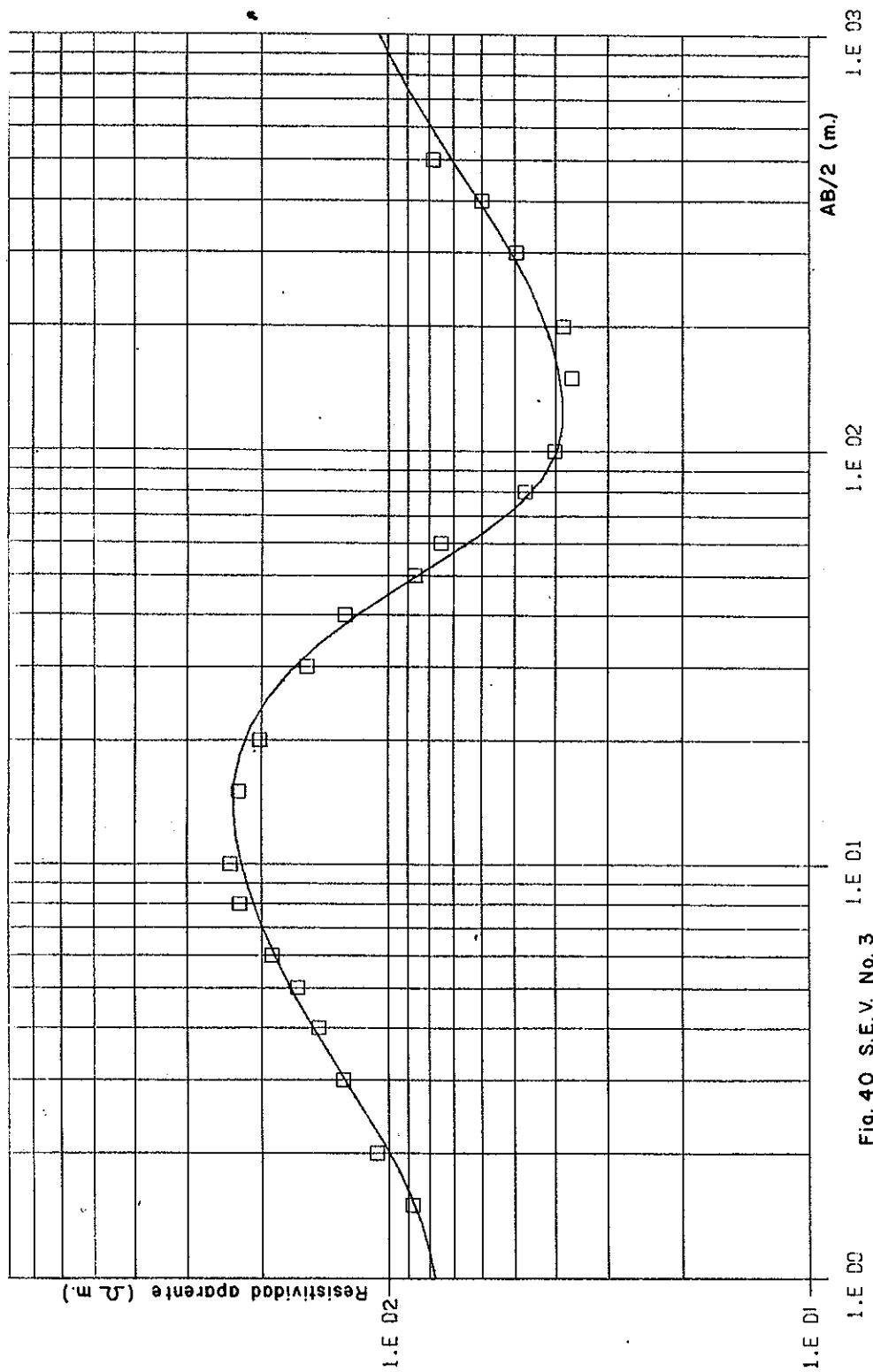


Fig. 40 S.E.V. No. 3
 □ datos de campo
 — modelo propuesto

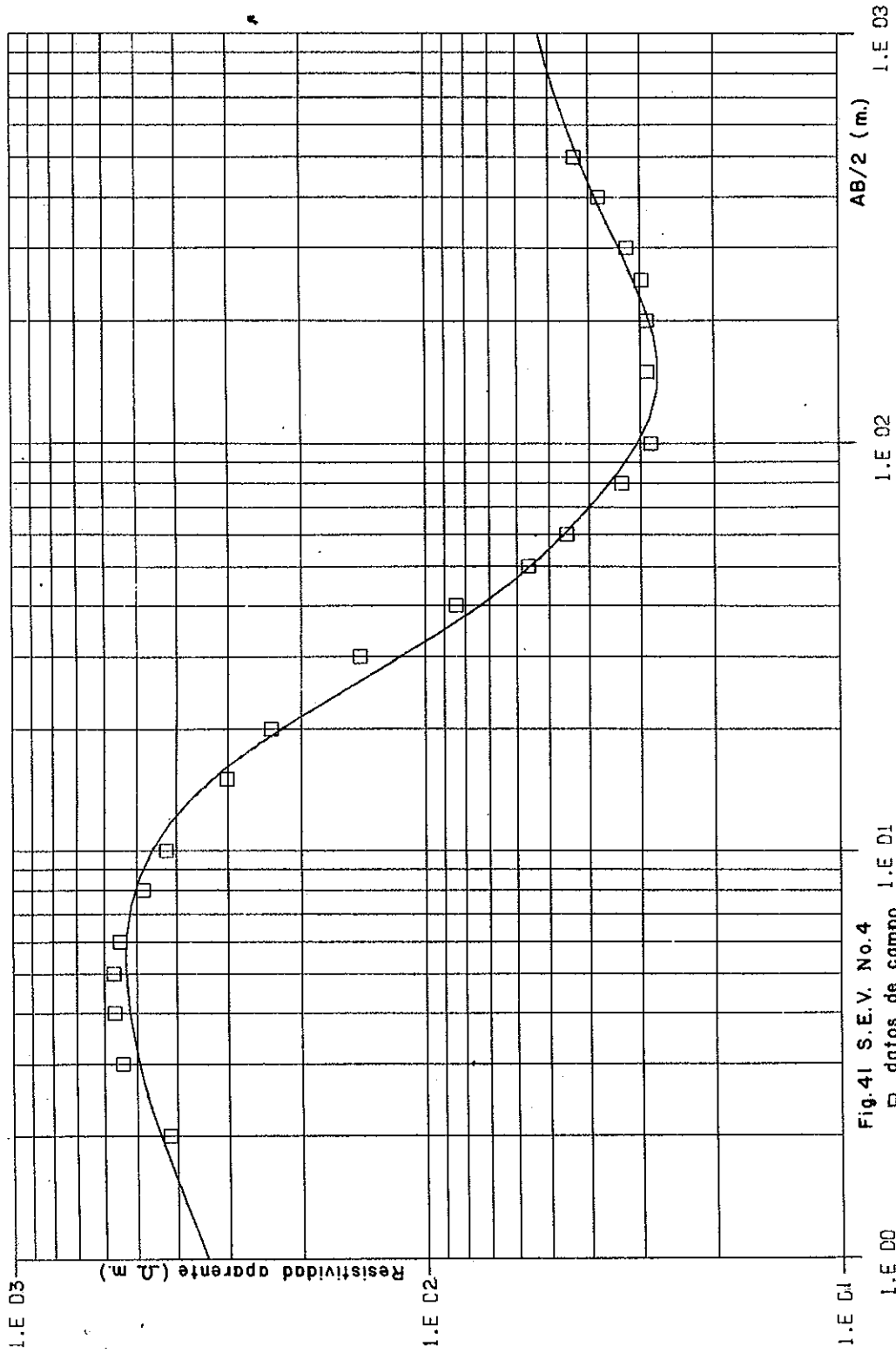


Fig. 41 S.E.V. No. 4
 \square datos de campo
— modelo propuesto

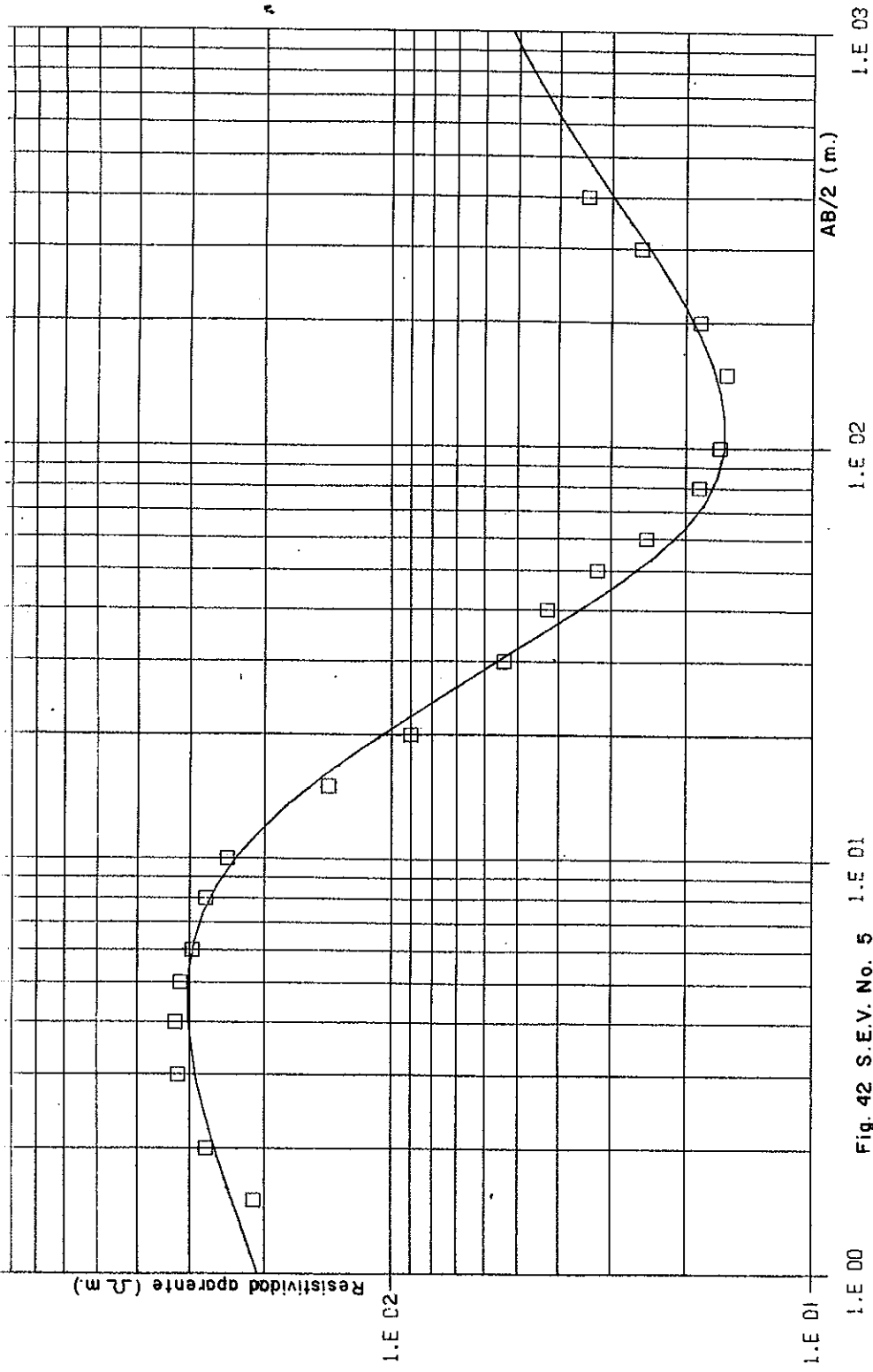
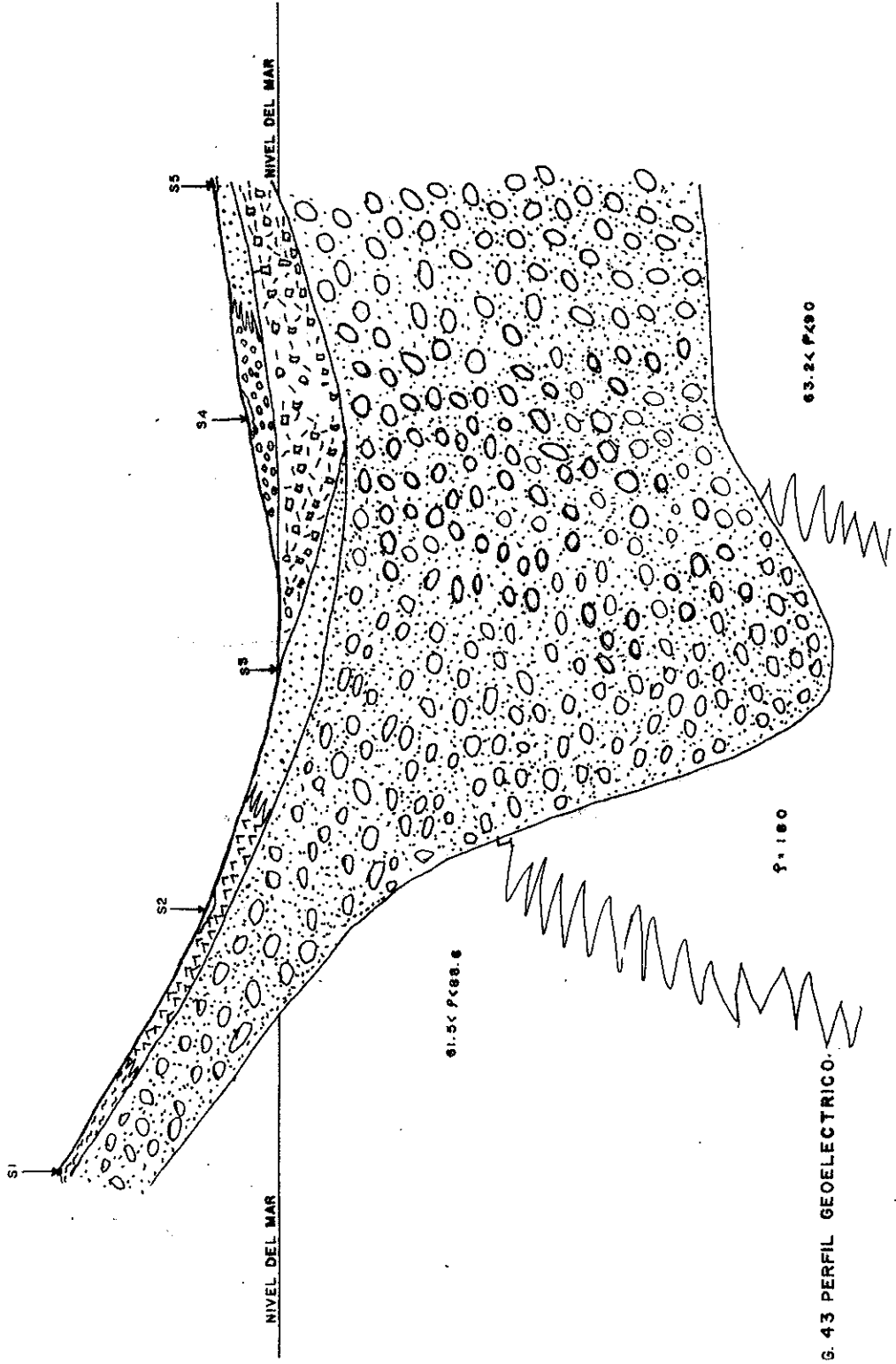


Fig. 42 S.E.V. No. 5
□ datos de campo
— modelo propuesto

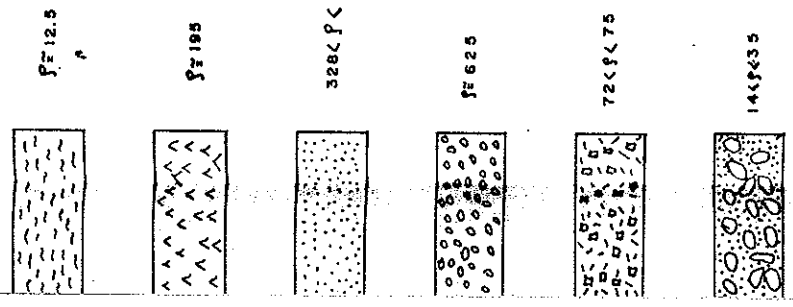
1.E 00 1.E 01 1.E 02 1.E 03
AB/2 (m.)

1.E 01
1.E 02
Resistividad aparente (Ω m)

ESCALAS
 HORIZONTAL 1:25 000
 VERTICAL 1:2 000



RESISTIVIDADES ($\Omega \cdot M$)



G. 43 PERFIL GEOELECTRICO.

LITERATURA CITADA

Rockwell International, 1979. AIM 65 User's guide.

Rockwell International, 1979. AIM 65 Basic.

RCA, 1977. Solid State COS/MOS Integrated Circuits.
(154-155) pp., (480-485) pp.

E. Norman Lurch, 1971. Fundamentals of electronics. Wiley.
6(153-169) pp., 7(183-205) pp.

Schilling and Belove, 1968. Electronic Circuits: Discrete
and integrated. McGraw-Hill. 7(245-250) pp.

RCA, 1967. Silicon Power Circuits Manual. (29-61) pp.

RCA, 1972. Manual de transistores tiristores y diodos.
(58-79) pp.

General Electric, 1979. SCR Manual. 3(35-68) pp.

Ernesto Orellana, 1974. Prospección Geoelectrica en
Corriente Continua Paraninfo. 2(52-78) pp.,

3(100-135) pp., 4(137-213) pp., 5(218-312) pp.

W. R. Telford, L. P. Geldart, R. E. Sheriff, D. A. Keys,
1976. Applied Geophysics. Cambridge University Press
8(632-700) pp.

P. K. Bhattacharya and H. P. Patra, 1968. Direct Current
Geoelectric Sounding. Elsevier Publishing Company.
2(5-40) pp., 3(41-98) pp.

Rijkswaterstaat, The Netherlands, 1975. Standard Graphs for
Resistivity Prospecting. European Association of
Exploration Geophysicists.