

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ADQUISICION AUTOMATICA
DE DATOS DE RESISTIVIDAD**

C. DUARTE*

F. HERRERA*

M. MARTINEZ*

(Recibido: 20 de enero, 1983)

(Aceptado: 20 de sepbre., 1983)

RESUMEN

Se describe un sistema automático de adquisición de datos, desarrollado en el CICESE, que se empleará en mediciones de resistividad. El sistema inyecta una corriente conocida al terreno y realiza mediciones del voltaje inducido con una rapidez máxima de 40 muestras/seg., con lo que calcula la resistividad aparente. La gran cantidad de datos que registra permite realizar estimaciones de parámetros estadísticos que brindan una mayor confiabilidad en las mediciones.

El dispositivo ha sido diseñado para suministrar una potencia de 5 kilowatts, a un voltaje máximo de 1000 volts, CD. Para evitar los efectos de polarización electrofítica originados por corriente unidireccional, la corriente inyectada es invertida periódicamente. El uso de corriente directa conmutada permite además eliminar de la medición el efecto de potencial espontáneo al promediar los potenciales medidos. El sistema está controlado por la microcomputadora AIM-65 que permite programarlo para operar a diferentes frecuencias de conmutación y además facilitar el procesamiento de datos en el campo. El costo en componentes del sistema es bajo comparado con otros similares de operación manual.

Actualmente se ha desarrollado un primer prototipo con el que se han obtenido resultados satisfactorios en pruebas de campo.

* *Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B. C., MEXICO.*

ABSTRACT

An automatic data acquisition system for field resistivity measurements was developed at CICESE. The system applies a known current to the ground, measures the induced voltage, and calculates the apparent resistivity. All measurements are converted to digital format, at a maximum sampling rate of 40 samples/sec. In this manner, the system collects large quantities of data that allow the calculation of statistical parameters which, in turn, permit to estimate the reliability of the measurements.

The device has been designed to supply a maximum power of 5 KW, at a maximum voltage of 1000 V, D C. The polarity of the applied current is inverted periodically to avoid the effects of electrolytic polarization caused by a unidirectional current. Also, the measured voltages are averaged to compensate the effects of self potential.

The system is controlled by a microcomputer (AIM-65 from Rockwell), that allows it to be programmed for different ranges of operation and perform some of the data processing in the field. The cost in components of the equipment is low compared with similar systems of manual operation.

At present, the first prototype has been developed and tested in the field and the results obtained have been satisfactory.

I. ANTECEDENTES

El método de resistividad por corriente continua es una técnica que se usa en prospección geofísica para determinar, por medio de mediciones efectuadas en la superficie de la Tierra, la distribución en profundidad de la resistividad eléctrica del medio. El conocimiento de esta distribución combinado con información geológica adicional, permite identificar cuerpos conductores o resistivos de interés económico.

En términos generales, el método consiste en inyectar a un terreno una corriente eléctrica de magnitud conocida que genere diferencias de potencial medibles entre puntos adecuados en la superficie. La medición de las diferencias de potencial entre estos puntos, permite calcular un parámetro denominado resistividad aparente (Ohms-m), definido por:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I}$$

donde I es la intensidad de corriente que se aplica al terreno (amperes), ΔV el voltaje inducido (volts) y K (m) un factor que depende de la disposición geométrica de los electrodos inyectoros de corriente y los medidores de potencial eléctrico. La determinación de la resistividad aparente en función de la separación de los electrodos permite calcular la distribución de la resistividad del subsuelo con la profundidad (Orellana, 1974).

En la actualidad, la mayoría de los equipos de resistividad que se usan en nuestro país, o son de origen extranjero, o son hechos en casa y de operación manual. Tales sistemas generalmente sirven para recolectar un número pequeño de datos en el pe-

riodo típico utilizado para un sondeo. Por esta razón no resultan muy adecuados para hacer estimaciones estadísticas con los datos recolectados. Además, limitan la apertura máxima a la que se pueden separar los electrodos de corriente, ya que no permiten detectar la señal cuando su nivel es comparable con el ruido natural.

Lo anterior hace deseable el disponer de un sistema capaz de tomar un gran número de mediciones de resistividad en forma automática que permitan extraer la señal del ruido en forma estadística, cuando sus niveles sean comparables. El automatizar el sistema también permite hacer análisis de los datos en el campo. Esto resulta de gran utilidad al geofísico encargado de hacer el levantamiento, ya que le permite agilizar la prospección y corregir posibles errores que se presentan al hacer las mediciones.

Considerando los avances recientes en instrumentación digital, que facilitan la elaboración de equipos de medición automática, mediante el uso de microprocesadores y otros componentes electrónicos de alta integración, la División de Ciencias de la Tierra del CICESE, se impuso la tarea de desarrollar un sistema que cumpliera con los siguientes objetivos:

II. OBJETIVOS DEL SISTEMA

- 1) Proporcionar alta potencia para realizar estudios a profundidad, empleando separaciones entre electrodos de inyección de corriente del orden de 1 a 2 km, aun en áreas de baja resistividad o altas resistencias de contacto.
- 2) Llevar a cabo una detección sincrónica entre la corriente inyectada y la diferencia de potencial del subsuelo, con el fin de eliminar de la medición, la influencia de variaciones en el potencial espontáneo, corrientes telúricas y ruidos industriales.
- 3) Recolectar automáticamente las muestras de potencial y corriente para calcular la resistividad aparente y estimar los parámetros estadísticos media aritmética y desviación estándar, que dan *in situ*, una idea de la calidad de los datos adquiridos.
- 4) Realizar una primera interpretación de los datos en el campo, con el objeto de corregir posibles errores al efectuar el sondeo.

III. DESCRIPCION DEL SISTEMA

En la figura 1 se muestra un diagrama a cuadros del sistema desarrollado. Dicho sistema consta esencialmente de 5 subsistemas, los cuales son:

Alimentación

Selección de nivel de voltaje de salida

Rectificación y conmutación de potencia

Medición

Control y procesado de datos.

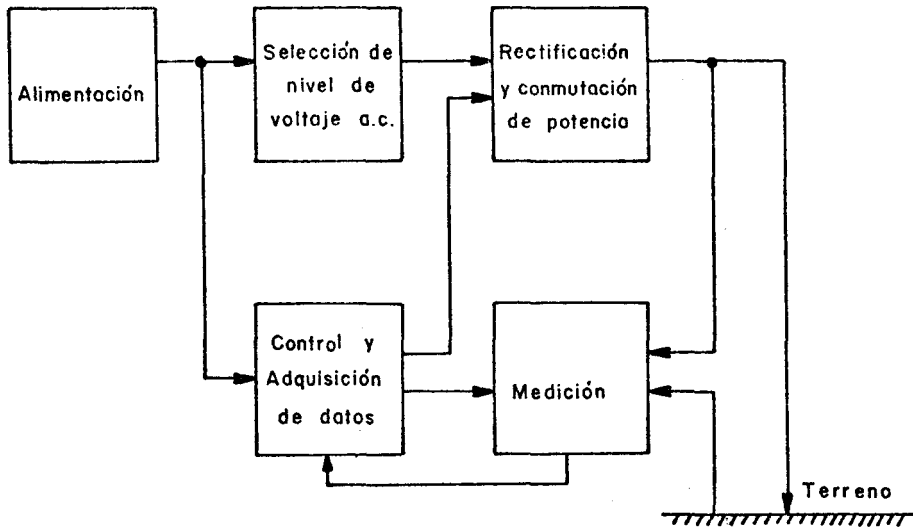


Fig. 1. Diagrama de bloques del sistema automático de inyección de corriente y adquisición de datos.

La fuente de alimentación entrega al selector de valor de voltaje 120 volts en CA, que éste eleva hasta un máximo de 1200. Posteriormente, este voltaje se aplica al módulo de rectificación y conmutación, el cual lo convierte a valores de CD que cambian de polaridad en forma alternada, para que después se pueda aplicar al terreno. El módulo de medición se encarga de medir la corriente que se inyecta al terreno, así como el potencial inducido. La rectificación de voltaje, la conmutación, las mediciones de corriente y potencial, además del registro y procesamiento de los datos, son gobernados por una microcomputadora, que integra el módulo de control y adquisición de datos.

A continuación se presenta una descripción más detallada de cada uno de los módulos que componen al sistema.

III. 1 Alimentación

El sistema es alimentado por un generador de corriente alterna con una salida de 5 KW a un voltaje de 120 volts con una frecuencia de 60 Hz. El generador recibe energía de un motor convencional de combustión interna.

III. 2 Selección del nivel de voltaje

Su función consiste en cambiar el valor de voltaje de CA, proporcionado por el generador, a la magnitud requerida para un estudio dado. Esto se debe a que la corriente inyectada al terreno será directamente proporcional al voltaje seleccionado e inversamente proporcional a la resistividad del terreno.

Este control se lleva a cabo manualmente mediante un autotransformador variable (Variac) y un transformador elevador de voltaje con una relación de 1:10. Al aplicar el voltaje de CA proporcionado por el generador a este sistema, se logra obtener a su salida una variación neta de voltaje en CA desde 0 hasta 1200 volts.

III. 3 Rectificación y conmutación de potencia

La función de este sistema es transformar la corriente alterna procedente de la etapa de selección de valores, a corriente directa con una polaridad determinada. La polaridad puede seleccionarse a voluntad, mediante señales de control apropiadas, de ahí resulta que se puedan generar ondas rectangulares de voltaje de período variable. Estas ondas serán las que posteriormente se apliquen al terreno para producir las corrientes que constituyen la esencia del método discutido en este trabajo.

Básicamente este módulo consiste en un sistema de rectificación de CA, en el que la polaridad de la salida rectificada puede controlarse apropiadamente, y un sistema de filtro de rizo formado por un banco de capacitores.

La rectificación del voltaje alterno se logra con un par de rectificadores de onda completa, formados con tiristores (SCR's). La figura 2 muestra un diagrama esquemático de la configuración de este sistema. Los rectificadores están conectados en

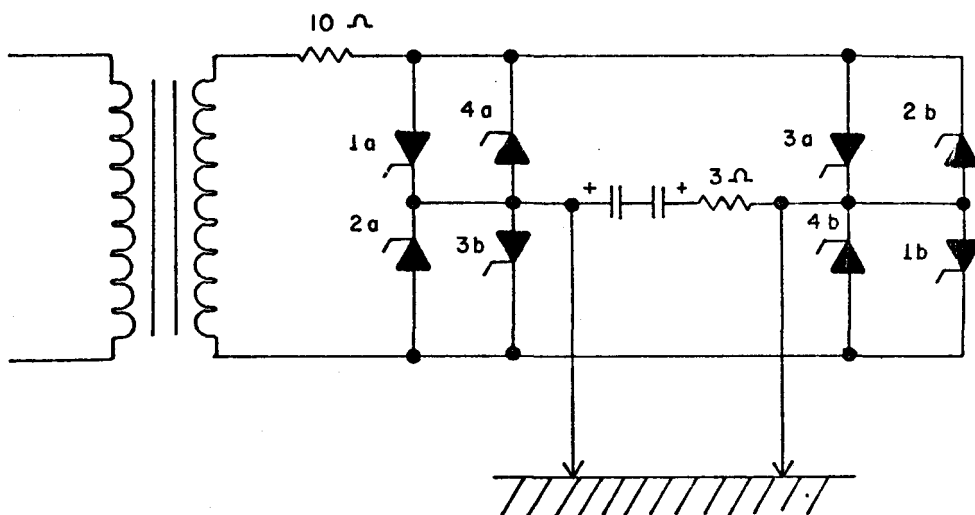


Fig. 2. Circuito conmutador de tensión.

tal forma que cada uno de ellos puede entregar una señal de polaridad opuesta respecto a una terminal común. El control de la polaridad de rectificación se logra mediante pulsos inyectados a las compuertas de los tiristores en instantes de tiempo apropiados. Este control debe ser tal que nunca se tengan los dos rectificadores activados simultáneamente, ya que esto sería catastrófico para el equipo.

III. 4 Medición

Una vez que se genera la forma de onda de voltaje que se aplica al terreno, se hace necesario medir tanto la corriente inyectada, como el potencial producido por esta corriente para calcular la resistividad aparente. En el sistema, estas mediciones se realizan por medio de un par de medidores digitales de voltaje (DPM's: Digital Panel Meters) comerciales con una resolución de tres y medio dígitos. La medición de potencial la efectúa directamente un medidor, mientras que la de corriente la realiza el otro al medir la caída de potencial en una resistencia de valor conocido.

Con el objeto de evitar los efectos transitorios que se presentan al conmutar el voltaje, las mediciones se toman en intervalos comprendidos entre $3/8$ y $7/8$ y entre $11/8$ a $15/8$ del período de la onda rectangular de voltaje aplicada al terreno. Esto se aprecia esquemáticamente en la figura 3.

La frecuencia de la corriente de inyección y el número de ciclos que se aplica al terreno son variables. La frecuencia máxima de conmutación es de 1 Hz y el número máximo de ciclos de inyección, de 255. Los medidores están controlados por la microcomputadora AIM65, que a su vez se encarga de almacenar y procesar los datos.

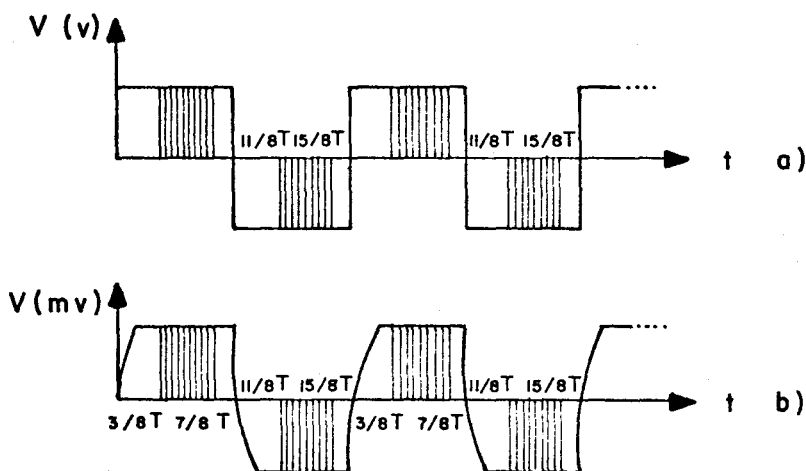


Fig. 3. Formas de onda a) tensión aplicada al terreno b) tensión inducida en el terreno.

III. 5 Control y procesamiento de datos

Debido a la necesidad de automatizar el control de la conmutación de la polaridad de la corriente y el procesamiento de los datos medidos, resultó conveniente realizar estas funciones con una microcomputadora. En nuestro sistema, la computadora utilizada fue la AIM-65, fabricada por Rockwell International, y se seleccionó básicamente por la experiencia que tienen los autores en el manejo de la misma. Esta microcomputadora resulta muy versátil, ya que puede programarse en lenguaje BASIC y tiene un pequeño impresor integrado, lo que permite generar copias de los resultados obtenidos en los sondeos.

En nuestro sistema, las funciones desarrolladas por la microcomputadora son:

- 1) Recibir del operador los datos referentes a la medición que se está efectuando. Esto es, parámetros geométricos del sondeo, frecuencia de la corriente por inyectar, duración de la medición, etcétera.
- 2) Controlar la frecuencia y número de ciclos de la señal que se aplicará al terreno por medio del encendido de los tiristores del bloque de potencia en el momento adecuado.
- 3) Activar los medidores de corriente y voltaje para efectuar las mediciones a la rapidez deseada.
- 4) Calcular la resistividad aparente de cada uno de los muestreos, determinar promedios y otros parámetros estadísticos referentes a la medición.

En la figura 4 se muestra un diagrama de cuadros del sistema de control y procesamiento de datos. Allí se puede ver cómo la microcomputadora efectúa las funciones anteriores.

El operador interacciona con el sistema a través de un teclado alfanumérico, y recibe contestación de la computadora por medio de un despliegue luminoso. El control en frecuencia de la corriente aplicada al terreno, se realiza a través de pulsos que envía la microcomputadora al sistema de rectificación y conmutación de potencia, por medio de interfases adecuadas. De la misma forma, la lectura de los medidores, se realiza a través de una interfase de lectura. Finalmente, el cálculo de la resistividad y la determinación de parámetros estadísticos es realizada por un programa que se ejecuta en la computadora.

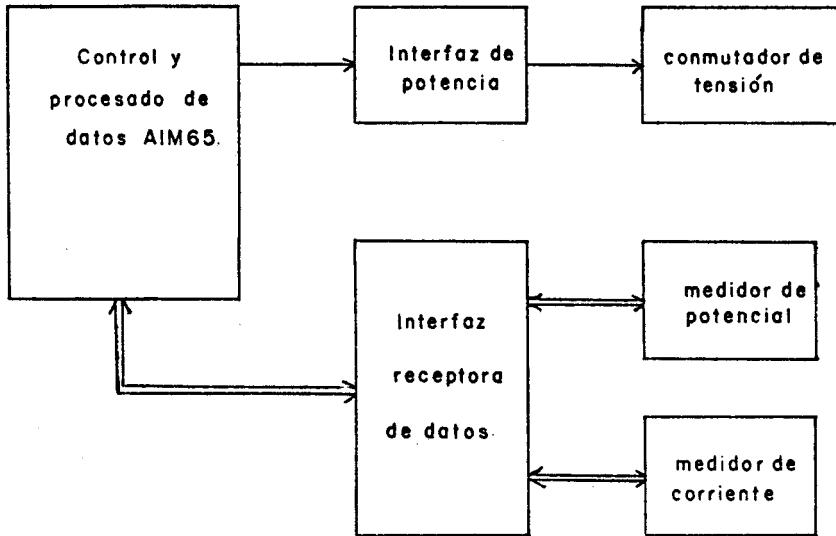


Fig. 4. Control y procesado de datos por microcomputadora AIM 65.

IV PROGRAMACION

La programación del sistema consiste en un programa principal escrito en lenguaje BASIC que, entre otras cosas, calcula la resistividad, realiza las tareas de estadística, y se encarga de invocar a las subrutinas escritas en lenguaje ensamblador que controlan la conmutación y la medición de voltaje. La figura 5 muestra un diagrama de flujo que resalta la operación de este programa.

V OPERACION

La operación del sistema es bastante sencilla. En principio, una vez que se han instalado los electrodos inyectores de corriente y los sensores de potencial, es necesario seleccionar manualmente un nivel de voltaje apropiado a las condiciones de la medición. A continuación, la computadora pide al operador una serie de datos complementarios al sondeo, como por ejemplo, el número de sondeo, fecha, hora, etcétera, y enseguida solicita las aperturas de los electrodos inyectores de corriente y de los medidores de potencial eléctrico (m), con lo cual calcula el factor geométrico K. Finalmente, pide la duración del período de corriente (seg) y el número de ciclos de inyección. Una vez que se da esta información y se autoriza a la computadora para continuar, el proceso de inyectar corriente y realizar las mediciones necesarias para calcular la resistividad, se realiza en forma automática.

Por otra parte, tomando en consideración que una falla o desperfecto de la microcomputadora ocasionaría la completa paralización del sistema, este fue diseñado

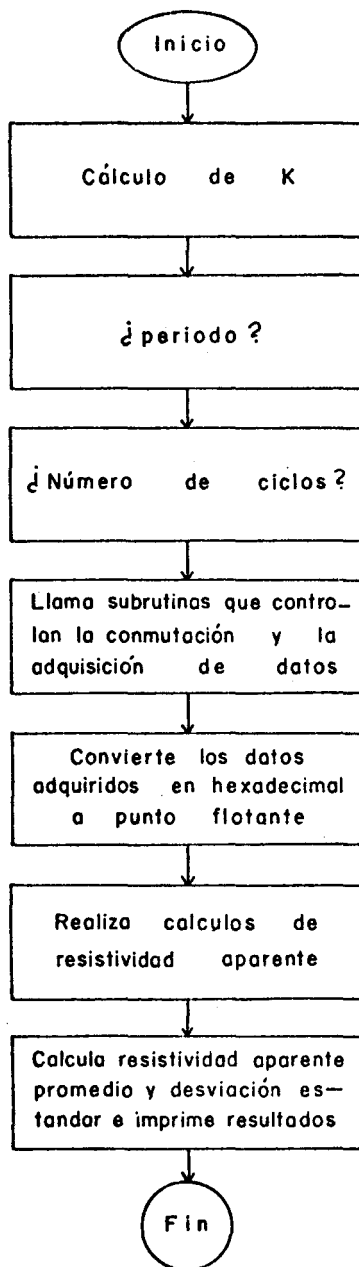


Fig. 5. Diagrama de flujo del programa principal em BASIC.

para trabajar también en un modo manual. En este modo el operador selecciona manualmente la polaridad de la señal que será aplicada al terreno y a su vez se requiere que anote las mediciones de potencial y corriente.

VI RESULTADOS

El equipo descrito anteriormente se desarrolló a nivel de prototipo. El sistema desarrollado fue calibrado en el laboratorio y se obtuvieron resultados satisfactorios. Además, el sistema fue probado en el campo mediante la realización de 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 corriente fue de 1 km, mientras que la separación entre los electrodos de medición de potencial llegó a 100 m.

VII CONCLUSIONES

Se han presentado las características generales de un sistema de conmutación de corriente y adquisición de datos, desarrollado por la División de Ciencias de la Tierra del CICESE, para su uso en sondeos de resistividad por corriente continua.

De los resultados de las pruebas de laboratorio, de su calibración y de los sondeos efectuados, se puede concluir que el prototipo desarrollado cumple con los objetivos para los que fue diseñado (Herrera, 1982). Lo anterior estimuló el desarrollo de un equipo con características similares, pero con una construcción más adecuada para su uso en el campo que está siendo construido por la División de Ciencias de la Tierra para su uso regular en sondeos geoeléctricos. Los resultados obtenidos con este sistema, serán publicados en su oportunidad.

VIII AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la planta de investigadores así como al personal técnico de apoyo de la División de Ciencias de la Tierra del CICESE, su aporte de ideas y tiempo durante el desarrollo de este proyecto. Tienen especial importancia las sugerencias del Dr. Ricardo Fernández, el M. en C. Rogelio Vázquez y el M. en C. Raymundo Vega.

BIBLIOGRAFIA

- HERRERA, F., 1982. Diseño, construcción y prueba de un equipo automático de suministro de voltaje y adquisición de datos para estudios de resistividad. Tesis de Maestría en Ciencias, CICESE, Departamento de Geofísica. Sin publicar.
- ORELLANA, E., 1974. Prospección Geoeléctrica en corriente continua. Ed. Paraninfo, 52-78.