EL BRICOLAGE GEOELÉCTRICO: UN RECURSO DE BAJO COSTE EN LA PROSPECCIÓN ARQUEOLÓGICA DE SUBSUELO

THE GEOELECTRICAL D.I.Y.: A LOW COST RESOURCE IN SUBSOIL ARCHAEOLOGICAL SURVEY

JOSÉ ANTONIO PEÑA (*)
JOSÉ ANTONIO ESQUIVEL (*)

RESUMEN

Se ha realizado, con medios de *bricolage*, un equipo para hacer perfiles (*calicatas*) eléctricos. A fin de probar su viabilidad práctica se han llevado a cabo una serie de experimentos programados cuidadosamente, seguidos de su correspondiente tratamiento numérico, que han permitido conocer los límites de aplicación del equipo. Los resultados obtenidos son válidos y reproducibles, demostrándose que con unos medios materiales muy limitados se pueden realizar prospecciones geofísicas mediante perfiles eléctricos de poca profundidad, útiles en Arqueología.

ABSTRACT

We have constructed, with D.I.Y. facilities, equipment for electrical survey. With the purpose of demonstrating its practical viability, a series of carefully programmed experiments have been carried out, followed by this suitable numerical treatment has allowed us to know the range of

application of the equipment. The results obtained are valid and can be reproduced, so showing that with very limited equipment can be carried out geophysical survey useful to Archaeology through shallow electrical profiling.

Palabras claves: Investigación arqueológica. Perfiles geoelectrónicos. Prospección geofísica. Resistividad.

Key words: Archaeological research. Geoelectrical profiles. Geophysical survey. Resistivity.

INTRODUCCIÓN

La realización de estudios de resistividad con el objetivo de obtener información sobre yacimientos arqueológicos requiere el uso de equipos geofísicos. Dado que tales equipos son caros (entre 800.000 y 1.200.000 ptas. actualmente en España) y que, en contrapartida, los principios en que se basan son muy sencillos, hemos decidido realizar un equipo con *medios de bajo coste* (lo que se puede encontrar esparcido sobre la mesa de cualquier laboratorio de electrónica), que sea válido, que se pueda montar sobre la marcha y, por supuesto, muy económico.

La idea directriz de este trabajo es que los equipos comerciales están enfocados, en general, a su empleo en sondeo eléctrico vertical, para aplicación en hidrogeología o para *calicateo* de bastante profundidad en minería. En arqueología, por el contrario, las estructuras investiga-

(*) Departamento de Prehistoria y Arqueología. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de Granada. Campus Universitario de Cartuja s/n. 18071 Granada. España. Instituto Andaluz de Geofísica. Campus Universitario de Cartuja s/n. 18071 Granada. España.

Direcciones e-mail Internet:

ja.pena@gea.ugr.es

esquivel@ululaya.ugr.es

El artículo fue remitido en su versión final el 31-III-95.

das están, normalmente, a muy poca profundidad y recubiertas, en bastantes ocasiones, de materiales poco resistivos, lo que permite obtener buenos resultados con aparatos de menores prestaciones.

Lógicamente, hemos realizado una serie de experimentos que permitan conocer la fiabilidad de las lecturas que el equipo realiza, y señalar sus límites de utilización. En el desarrollo de estos experimentos se ha adquirido también cierta experiencia sobre cuestiones prácticas de uso del equipo, que se indican con la idea de evitar que los potenciales usuarios tengan que redescubrir las.

Se detallan los aparatos usados, los experimentos planteados y los resultados brutos obtenidos, así como los resultados del tratamiento estadístico de dichos datos. En resumen, se proporciona la información necesaria para reproducir y comprobar las experiencias que permitan usar con confianza el equipo diseñado, tan tosco en apariencia.

Bases teórico-prácticas

Sea un conductor de longitud l . Si la superficie de la sección es S , se demuestra que la resistencia R al paso de la corriente eléctrica aumenta con la longitud y disminuye con la sección según la ecuación:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

siendo ρ una constante de proporcionalidad (denominada *resistividad*) que permite ajustar la ecuación. Al repetir el experimento con otro conductor de las mismas características geométricas pero de distinta naturaleza, se observará un diferente valor de ρ , con lo que se comprueba que dicho valor depende de la naturaleza del conductor. Dimensionalmente, S es una longitud al cuadrado, es decir, $[S] = [L][L]$ por lo que la ecuación de dimensión de la resistividad ρ viene expresada por

$$\rho = \frac{RS}{l} \Rightarrow [\rho] = \frac{[R][L][L]}{[L]} = [R][L]$$

es decir, la resistividad tiene las dimensiones de una resistencia por una longitud.

La resistencia eléctrica R puede calcularse a partir de la Ley de Ohm:

$$R = \frac{\Delta V}{I}$$

siendo I la intensidad de la corriente y ΔV la diferencia de potencial.

El fundamento de los estudios de resistividad del terreno ρ es que este parámetro puede ser calculado conociendo la resistencia eléctrica del terreno R y multiplicando por una constante K , cuya dimensión, como se ha indicado, es una longitud, que es controlable en función del dispositivo (disposición de electrodos) empleado. La resistencia eléctrica se calcula midiendo tanto la intensidad I de corriente introducida en el terreno mediante los electrodos de corriente (A,B), conectados a un generador y a un amperímetro, como la diferencia de potencial generada ΔV , que se detecta en los electrodos de medida (M,N). Estas variables se rigen por la siguiente expresión:

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

El dispositivo que muestra la figura 1 sería suficiente, a pesar de su simpleza, si no existiesen perturbaciones externas derivadas de factores tan diversos como (Martín Marfil, 1973):

Fig. 1

- *Corrientes vagabundas*, originadas por la actividad humana. Suelen ser perturbaciones estables y generalmente localizadas.
- *Polarización espontánea*, debida a fenómenos químicos o de electroinfiltración. Puede alcanzar valores considerables en las proximidades de depósitos de sulfuros.

- *Corrientes telúricas*, derivadas en último extremo de la rotación terrestre y de las actividades atmosférica y solar. Suelen variar en períodos muy largos y tener un valor absoluto pequeño.
- *Polarización de electrodos*, originadas por el contacto de los electrodos con el terreno. Este efecto crea el problema más importante puesto que puede dar lugar a diferencias de potencial en torno a la décima de voltio, con una variación rápida durante un par de minutos en un rango de valores de milivoltios; después cambia muy lentamente en este mismo orden de magnitudes.

Estos problemas se solucionan, en parte, mediante el uso de electrodos *impolarizables* de porcelana porosa, que resultan útiles cuando se deben realizar gran cantidad de medidas en el mismo punto (caso de los sondeos eléctricos), pero son poco prácticos cuando los electrodos deben cambiar continuamente de sitio (caso normal en arqueología, donde se emplean métodos de calicatas con preferencia a los de sondeo). En este último caso es más sencillo usar como electrodos picas de cobre, que pueden servir indistintamente como electrodos de corriente o de potencial.

Por otra parte, casi todos los equipos llevan un sistema de compensación electrónica que pone a cero el milivoltímetro durante el intervalo de tiempo necesario para realizar la lectura o, en su defecto, algún sistema de cambio de polaridad de la fuente.

Descripción del equipo diseñado

El equipo utilizado en este trabajo emplea picas de cobre de longitud comprendida entre 50 y 70 cm y diámetro comprendido entre 1 y 2 cm, como electrodos válidos para todo uso; además, se ha utilizado cable 1 mm de diámetro, soldado a la pica y aislado, terminado por el otro extremo en un conector tipo *banana*.

El cable empleado es de tipo *standard* (monofilar de 1 mm. de diámetro y de 100 m. de longitud, más que suficiente para los trabajos normales en Arqueología) y como instrumento de medida se utiliza un polímetro digital totalmente *standard* para medir la intensidad (incluso el más barato supera con creces el rango de valores y la sensibilidad necesarios en este tipo de pros-

pección geofísica). Las diferencias de potencial se miden con un multímetro que permite medición relativa, es decir, un polímetro con puesta a cero. Este tipo de instrumento era relativamente caro hace unos años (en torno a las 100.000 ptas), pero en la actualidad se puede adquirir por precios inferiores a un tercio del citado valor.

Como fuente de alimentación hemos usado indistintamente pilas secas de 4.5 voltios, soldadas en serie (por operatividad hemos limitado la salida máxima a 145 voltios, aunque no existe límite al voltaje de salida) o minibaterías recargables de plomo ácido, convenientemente conectadas en serie.

El resto del equipo, cintas métricas, martillos, etc, no tiene ninguna característica especial.

Pruebas realizadas

Para estudiar la estabilidad del sistema, se han diseñado y realizado una serie de experimentos orientados a establecer la fiabilidad del equipo y los valores límite entre los cuales el aparato es operacional, utilizando diferentes configuraciones de electrodos. Estos aspectos se han comprobado mediante experimentos encaminados a evaluar:

- tiempo de estabilización de la lectura de corriente
- tiempo de estabilización del potencial de polarización
- registro de condiciones ambientales
- análisis de estabilidad:
 - con dispositivo Wenner simétrico
 - con dispositivo dipolo-dipolo
 - con dispositivo asimétrico
- conservación de la linealidad
- reproducibilidad

Tiempo de estabilización de la lectura de corriente

Un aspecto importante, fundamentalmente de tipo operativo, es el conocimiento del tiempo que necesita el equipo en alcanzar la estabilidad para, de esta forma, poder realizar lecturas fiables. A este fin, se han realizado varias medidas destinadas a determinar el tiempo que tarda en estabilizarse la lectura del miliamperímetro desde el momento en que se le aplica corriente. Como criterio de estabilidad se ha adoptado que el dígito de la décima de miliamperio se man-

tenga invariable durante 5 segundos, tiempo suficiente para realizar la lectura (el criterio temporal es arbitrario, pero adecuado para conseguir lecturas cómodas y homogéneas); normalmente la intensidad disminuye rápidamente en los primeros momentos, pero la estabilización se obtiene antes de 10 segundos si se emplean baterías recargables. Utilizando pilas secas el tiempo de estabilización puede llegar a 1 minuto y, en este caso, la intensidad disminuye al principio, alcanza un mínimo en el que se mantiene unos segundos y puede subir posteriormente (normalmente se han realizado las lecturas en este mínimo temporal).

a)	b)	c)
n°	n°	n°
t	t	ma
		mv
1	74	9.7
2	76	9.7
3	87	9.6
4	151	9.6
5	50	9.5
6	37	9.5
7	65	9.4
8	125	9.4
9	118	9.4
10	66	9.3
11	69	9.3
12	46	9.3
13	62	9.3
14	74	9.2
15	34	9.2
16	45	9.2
17	30	9.2
18	55	9.1
19	52	9.1
20	34	9.1
21	51	9.1
22	110	9.1
23	93	9.0
24	51	8.9
25	44	8.9
26	68	8.9
27	73	8.9
28	41	8.9
29	50	8.9
30	40	8.8

Tabla 1. n° =número de lectura, t =tiempo en segundos, ma =miliamperios, m =milivoltios, a) Tiempo de estabilización de la lectura de corriente, b) Tiempo de estabilización de la lectura de potencial sin entrada de corriente y c) Prueba de estabilidad con dispositivo dipolo-dipolo, *input* de 25 voltios.

Este parámetro se ha considerado de tipo operativo, por lo que no se ha efectuado ningún tratamiento especial de los datos obtenidos (Tabla 1a).

Para los datos expuestos en dicha tabla se ha utilizado como fuente de alimentación una mini-batería recargable de 12 voltios y las picas se colocaron con una separación de 3 m. A efectos prácticos, el comportamiento de la fuente de alimentación empleada debe determinarse en el propio campo (dado que ésta muestra cierta variabilidad según su estado de carga), a fin de realizar todas las medidas subsiguientes con el mismo criterio.

Tiempo de estabilización del potencial de polarización

Como en el caso anterior, es importante conocer el tiempo de estabilización de los electrodos de potencial; para ello, se han realizado las medidas correspondientes siguiendo una metodología similar a la utilizada en operación real.

En primer lugar se han clavado los dos electrodos a 1 m. de distancia y se ha realizado una primera medida. Posteriormente se ha ido substituyendo el electrodo delantero por uno nuevo, mientras que el antiguo delantero pasaba a ser electrodo trasero sin cambiar su situación en el terreno, manteniendo la distancia interelectródica en 1 m. en cada cambio de situación.

En este experimento se ha considerado que el sistema era estable cuando la cifra del milivoltio se mantenía durante 5 segundos. Este hecho marca uno de los límites del sistema, esto es, la imposibilidad de realizar lecturas con mayor precisión que 1 milivoltio, de la misma forma que el experimento anterior estableció el límite para la lectura del *input* en la décima de miliamperio.

El tiempo de estabilización es normalmente inferior a los dos minutos (Tabla 1b), lo que permite tomar un número suficiente de medidas en un tiempo razonable (sin embargo, las condiciones ambientales pueden aumentar esta cantidad y disminuir la rapidez en la obtención de las medidas).

De igual forma que en el experimento anterior, los datos no han sufrido ningún tratamiento de tipo matemático. Y, como antes, se recomienda estudiar en cada caso el comportamiento sobre el terreno del equipo utilizado, a fin de realizar las lecturas con un criterio homogéneo.

Registro de condiciones ambientales

Como complemento al experimento anterior, y con la idea de conocer la evolución del potencial que sufren los electrodos de medida (corrientes vagabundas, de polarización de electrodos y telúricas), se han realizado registros de potencial en papel continuo, con un registrador analógico colocado a su sensibilidad máxima (10 milivoltios de fondo de escala) y con diferentes velocidades de registro (entre 1 mm/s y 0.5 mm/minuto). En todos los casos se confirman los resultados expresados en la Tabla 1b, es decir, existen variaciones del orden del milivoltio durante los primeros 2 minutos transcurridos desde el momento de colocar los electrodos en el terreno para, posteriormente, estabilizarse y mantener variaciones de décimas de milivoltio. En los registros de más duración se observan los efectos de las corrientes telúricas, cuya influencia es nula a efectos de prospección, dada su baja frecuencia.

En todos los casos se han usado como electrodos de medida picas de cobre clavadas a 1 m. de distancia.

Análisis de estabilidad con dispositivo Wenner

Para comprobar la estabilidad del sistema se ha montado un dispositivo Wenner con separación de electrodos de 1 m., realizándose 58 medidas de las que las 13 primeras no se han usado en los cálculos puesto que eran medidas de prueba destinadas a observar el comportamiento del sistema. Las lecturas se han realizado sin cambiar la posición de los electrodos, colocados en el jardín del Instituto Andaluz de Geofísica, utilizando como fuente de alimentación pilas secas, conectadas en serie, proporcionando una salida de 9 voltios.

El amperímetro proporcionaba lecturas que descendían rápidamente y, posteriormente, se estabilizaban para iniciar una lenta subida final. Las lecturas de intensidad y voltaje se ha tomado en este mínimo.

El jardín había sido regado concienzudamente durante los días anteriores, lo que garantizaba la presencia de potenciales de infiltración; además hay varias tomas de tierra cercanas, lo que permite asegurar la existencia de corrientes vagabundas (en definitiva, unas condiciones bastante desfavorables para la prospección).

La figura 2 muestra los valores proporcionados por el miliamperímetro para cada una de las

lecturas efectuadas, observándose un descenso del *input* que puede deberse al progresivo agotamiento de la pilas secas empleadas. El eje *x* de la figura representa el número de orden de las sucesivas lecturas, mientras que el eje *y* representa la magnitud medida.

Fig. 2

La figura 3 muestra las lecturas del milivoltímetro para cada valor de entrada mostrado en la figura 2; la similitud de las curvas de entrada y salida sugiere inicialmente que la correlación es buena.

Fig. 3

La figura 4 muestra el resultado, traducido a resistividad aparente, de las dos figuras anteriores. Las diferencias entre picos, achacables a los errores de operación, se mantienen dentro de las décimas de ohmio por metro; por otra parte, la tendencia creciente de la curva puede achacarse a la desecación progresiva del suelo debida al calor del Sol durante el desarrollo del experimento.

Fig. 4

El análisis estadístico de estos datos se ha enfocado a tres aspectos fundamentales:

A) *Ajuste de cada variable a una curva normal univariante.* Un aspecto importante del experimento consiste en conocer que los datos, fundamentalmente los de salida (los valores de entrada son deterministas), siguen una ley determinada (la ley teórica en la que se basa el dispositivo). En este sentido, se ha estudiado el ajuste de la distribución de frecuencias de la salida (voltios) a las distintas distribuciones más usuales, encontrándose que no se ajusta a ninguna de ellas. La figura 5 muestra el gráfico de ajuste a una distribución normal que, aunque de forma intuitiva, ya indica la no normalidad de los datos (se ha comprobado realizando un *test* de ajuste, aunque realmente no era necesario hacer esta prueba).

B) *Existencia de diferencias significativas entre input y output.* El modelo teórico exige

Gráfico de probabilidad normal

Fig. 5

que exista una clara correspondencia entre el *input* y el *output*, para mantener la consistencia de los resultados. El estudio de la existencia de diferencias se ha llevado a cabo mediante la realización de un *test* de Kolmogorov-Smirnov, que no exige el cumplimiento de ninguna hipótesis previa acerca de los datos (debido a la diferencia que existe entre las unidades de medida de la entrada y la salida, los valores se han estandarizado a media 0 y varianza 1). La aplicación del *test* proporciona los resultados

$$DN = 0.0888889, KS = 0.421637 \text{ y } 1-\alpha = 0.994241$$

lo que indica la inexistencia de diferencias significativas entre ambas distribuciones. Intuitivamente, la gráfica de los coeficientes de diferencias acumuladas muestra la coincidencia casi total entre los valores de las dos variables (Fig. 6).

C) *Estudio de la correlación entre entrada y salida.* Un funcionamiento correcto del aparato exige que exista una correlación lineal prácticamente perfecta entre la aplicación de la intensidad (amperios) y la obtención del voltaje de salida (voltios). De la misma for-

Fig. 6

ma, es necesario obtener un ajuste casi perfecto de los datos a la recta de regresión determinada por los mismos. El análisis de la regresión muestra un coeficiente de correlación $r = 0.999309$ con un error estándar de 0.00011777 y un coeficiente $R^2 = 99.86\%$, lo que indica que el modelo explica casi el 100 % de la variabilidad de los datos.

La recta de regresión ajustada a los datos viene explicitada en la forma:

$$y = 0.0065 + 20.7021x$$

siendo los voltios la variable dependiente (y) y los amperios la variable independiente (x). El ajuste de los puntos a la recta de regresión se muestra en la figura 7, donde las líneas discontinuas determinan el intervalo de ajuste al 95 % de significación (estas líneas coinciden con el intervalo de predicción del modelo, también al 95 % de significación).

El experimento se ha repetido con el mismo dispositivo y con un *input* de 25 voltios (en lugar de los 9 utilizados en la experiencia anterior), proporcionando unos resultados totalmente coherentes con los obtenidos en el primer experimento.

Regresión voltios=a+b.amperios

Fig. 7

Análisis de estabilidad con dispositivo dipolo-dipolo

Los experimentos anteriores se han repetido con idénticas características excepto que, en este caso, la disposición de los electrodos es de tipo dipolo-dipolo en línea. Se ha utilizado como entrada una fuerza electromotriz de 9 voltios, lo que proporciona una intensidad de 1.6 miliamperios y origina una diferencia de potencial en los electrodos de medida de unos 13.5 milivoltios, obteniéndose unos resultados aceptables aunque inferiores a los obtenidos en los experimentos anteriores ($r = 0.923705$ y $R^2 = 85.32\%$). La figura 8 muestra la recta de regresión y los intervalos de confianza (líneas discontinuas) y de predicción del modelo, con una significación del 95%.

La enseñanza que cabe deducir de esta experiencia es que conviene introducir la suficiente corriente para obtener un *input* mayor. Esta afirmación se confirma en el siguiente experimento, realizado en idénticas condiciones pero con una entrada de 25 voltios, obteniéndose resultados prácticamente idénticos a los de las experiencias con los dispositivos Wenner (Tabla 1c) (1).

(1) En cualquiera de los experimentos de estabilidad, el análisis de los residuos de los modelos regresivos, mostró una total falta de pautas en los mismos (no se exponen los resultados por no recargar el texto con más gráficos y parámetros estadísticos).

Fig. 8

Análisis de estabilidad con dispositivo asimétrico

El estudio de la estabilidad del instrumento utilizando un dispositivo asimétrico se realizó mediante otro experimento en condiciones similares a los anteriores. En esta ocasión se utilizó un dispositivo Wenner asimétrico, con separación interelectródica de 1 m. con el electrodo *B* situado en el "infinito". En nuestro caso concreto, la limitación del recinto donde se realizaron los experimentos obligó a que el infinito estuviese situado a tan solo 22 m, lo que proporciona unos resultados de resistividad anormalmente altos, aunque perfectamente comparables entre sí.

El *input* usado fue una corriente continua de 25 voltios, lo que originó lecturas de corriente de 5.6 miliamperios y diferencias de potencial de 156 milivoltios. Se realizaron 30 lecturas con resultados totalmente homologables tanto a los obtenidos en el dispositivo Wenner simétrico como al dipolo-dipolo con entrada de 25 voltios.

Conservación de la linealidad

Los anteriores experimentos demuestran que el aparato es estable y que responde de una manera predecible entre diferentes lecturas. No

obstante, es necesario dar un paso más: puesto que las mediciones se basan en la ley de Ohm, que varía de forma lineal, el instrumento debe comportarse también linealmente cuando se empleen valores extremos de corriente, y no solamente con las pequeñas variaciones debidas a la caída de corriente entre diferentes lecturas.

Con este fin se realizó un dispositivo Wenner simétrico con separación interelectródica de 1 m. y se aplicó al sistema, sucesivamente, corriente continua con entradas de 9, 25, 50, 100 y 145 voltios, realizando 6 lecturas con cada una de estas entradas y midiendo las correspondientes intensidades y diferencias de potencial de las respuestas.

El dispositivo se mantuvo en la misma posición a lo largo de las lecturas, empleando como fuente de alimentación un conjunto de pilas secas conectadas en serie.

La simple inspección visual de la figura 9 muestra que el ajuste es excelente (los puntos se confunden con la recta de regresión), y el análisis de regresión confirma esta idea intuitiva. La recta de regresión toma la forma $y = 41.1102x$, con un valor para el término constante de 0.00016 y una probabilidad de 81.3 % de que

Fig. 9

dicho valor sea 0. El coeficiente de correlación $r = 0.999997$ (prácticamente 1), con un error en la estimación de 0.002 y un valor $R^2 = 100\%$. Estos parámetros confirman un ajuste prácticamente perfecto de los datos al modelo teórico, y el valor de 41.1102 corresponde, lógicamente, a la resistencia calculada.

Experimento de perfiles en condiciones reales (reproducibilidad)

Una vez finalizados los anteriores experimentos, se abordó la realización de una prueba en condiciones equivalentes a las reales. Así, se planificó una *calicata* con dispositivo Wenner asimétrico, con electrodos AMN separados 1 m. y dispuesto perpendicularmente a los cimientos de una antigua construcción hoy desaparecida, aunque perfectamente documentada. Si todo funcionaba correctamente, el aparato debía detectar la anomalía y, al repetir la experiencia en otro momento, usando exactamente los mismos puntos para clavar los electrodos, debía proporcionar resultados comparables.

Fig. 10

Los dos perfiles resultantes se han incluido en la misma figura 10, y la comparación cualitativa de los mismos muestra que los resultados son perfectamente reproducibles (las diferencias entre ambos perfiles pueden llegar a los 20 Ωm pero, en cualquier caso, los picos coinciden y el orden de

magnitud de las anomalías también). Si se emplean polímetros provistos de la función *hold*, que permite "congelar" las lecturas en el momento más oportuno, los errores operacionales se reducen y los resultados son aún más ajustados.

El estudio de la existencia de diferencias entre ambos perfiles se ha llevado a cabo mediante la aplicación del *test* de Kolmogorov-Smirnov, que ha proporcionado los resultados

$$DN=0.125, KS=0.25 \text{ y } 1-\alpha=0.9999$$

Estos valores indican la inexistencia de diferencias significativas entre ambos conjuntos de medidas. La gráfica de los coeficientes de diferencias acumuladas (Fig. 11) muestra, de forma intuitiva, la coincidencia casi absoluta entre los valores de las dos variables.

Fig. 11

CONCLUSIONES

Creemos haber demostrado de manera convincente que se pueden realizar perfiles geoeléctricos adecuados a la investigación arqueológica, con unos medios muy limitados y, por tanto, con un desembolso igualmente limitado. Los resultados que se pueden obtener son comparables a

los que proporcionan equipos comerciales de mayores prestaciones.

Por supuesto, el equipo diseñado por nosotros no es tal. Se trata en realidad de una unión de componentes para la realización de unos experimentos; sin embargo, basados en los mismos principios y con un pequeño coste adicional se puede construir un verdadero equipo más transportable y robusto, tratándose en todo caso de una operación de *bricolage* más que de una cuestión de ingeniería.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado dentro del proyecto ***Desarrollo de métodos para la diagnosis e investigación conservacionista del patrimonio arqueológico***, Sec94 0633, financiado por la CICYT, con una duración de 3 años.

BIBLIOGRAFÍA

- BOX, G.E.P.; HUNTER, W.G. & HUNTER, J.S. (1978): *Statistics for Experimenters*. Wiley. New York.
- CHATFIELD, C. (1983): *Statistics for technology*. Chapman & Hall. London.
- COX, D.R. & HINKLEY, D.V. (1974): *Theoretical Statistics*. Chapman & Hall. London.
- DRAPER, N.R. & SMITH, H. (1981): *Applied Regression Analysis*. John Wiley and Sons. Chichester.
- FLETCHER, M. & LOCK, G.R. (1991): *Digging Numbers: Elementary Statistics for Archaeologists*. Oxford University Committee for Archaeology. Oxford.
- IAKUBOVSKII, I.V. y LIAJOV, L.L. (1980): *Exploración eléctrica*. Reverté. Barcelona.
- MARTÍN MARFIL, J. (1973): *Electrodos impolarizables de plata y estabilidad de los mismos*. Escuela de Ciencias. Universidad de Oriente. Cumaná.
- NORUSIS, M.J. (1985): *SPSS-X: Advanced Statistics Guide*. SPSS Inc. Chicago.
- ORELLANA, E. (1972): *Prospección geoelectrica en corriente continua*. Paraninfo. Madrid.
- RAWLINGS, J.O. (1988): *Applied Regression Analysis: A Research Tool*. Wadsworth & Brooks. Belmont.
- SHENNAN, S. (1992): *Arqueología Cuantitativa*. Crítica. Barcelona.
- SNEDECOR, G.W. & COCHRAN, W.G. (1980): *Statistical Methods*. Iowa State University press. Iowa. 7th edn.