

**METODOS GEOFISICOS
APLICADOS A LA PROSPECCION ARQUEOLOGICA**

Alfonso Carlos SANZ NUÑEZ

METODOS GEOFISICOS APLICADOS A LA PROSPECCION ARQUEOLOGICA*

Alfonso Carlos SANZ NUÑEZ**

Por tratarse de un tema eminentemente práctico se ha realizado la enseñanza de las técnicas que hoy son aplicadas para localizar nuevos emplazamientos arqueológicos o detectar con mayor precisión los ya existentes, directamente en el campo.

El magnetismo es un fenómeno físico natural conocido desde la antigüedad, y no vamos a entrar aquí a referirnos al campo magnético terrestre en sus formulaciones físicas. Sólo nos baste decir que se puede calcular teóricamente el valor del campo magnético creado por un dipolo central y una esfera uniforme aplicado a la Tierra. En un punto del globo terrestre definido por su posición geográfica (longitud y latitud) podemos calcular este valor teórico. Si determinamos el valor real del campo magnético en cualquiera de estos puntos sobre la Tierra se nos manifiesta distinto al calculado en el modelo teórico.

* Seminario impartido en Tarazona y patrocinado por el Centro de Estudios Turiasonenses los días 26 y 27 de marzo de 1982.

** Ingeniero Técnico en Topografía. Jefe de Negociado de la sección de Geomagnetismo y Aeronomía del Instituto Geográfico Nacional.

El resultado de esta medida directa es consecuencia de la actuación de dos o más campos distintos: uno endógeno, al que denominamos campo magnético “permanente” o “fundamental”, y otro exógeno que no varía de forma uniforme debido a que influyen dos factores: uno debido a una variación periódica diaria o anual y otro irregular que produce variaciones rápidas sin ajustarse a un tiempo en concreto, siendo de distinta duración e intensidad cada vez.

Tampoco el campo magnético fundamental es constante, sino que varía con el tiempo, dando lugar a variaciones seculares, y, por otra parte, presenta irregularidades en su distribución geográfica, originando discrepancias con el valor normal. Estas irregularidades son conocidas como “anomalías magnéticas”. A medida que nos alejamos de la superficie terrestre, estas anomalías disminuyen, por lo que permite afirmar que las mismas son debidas a depósitos de materiales magnéticos enterrados o bien a la existencia de corrientes internas.

En arqueología se hace uso de este mismo concepto de anomalía para detectar cualquier vestigio enterrado que produce, en escala menor, el mismo efecto que en la esfera terrestre.

Efectivamente, para una superficie pequeña el valor del campo debería ser uniforme en un período de tiempo pequeño. De no ser así, será debido o bien a una variación rápida del campo por causas externas, como una tormenta magnética que es capaz de provocar variaciones rápidas en pocos minutos, o a la variación diurna, o a que existe un depósito de material enterrado con distinta imantación que el que le rodea.

Existen distintos tipos de imantación: Imantación remanente isoterma, debida a la producida sobre una muestra después de haber sido sometida a un campo intenso a la temperatura ambiente durante escaso tiempo (por ejemplo, la producida por un rayo) y desaparece lentamente.

Si se somete la muestra a una elevación intensa de la temperatura durante un período de tiempo mayor, la remanencia se hace mayor y crece con el tiempo, indicando la dirección del campo magnético en que se produjo el fenómeno. Se conoce este estado como imantación remanente viscosa y se presenta en las tierras cocidas y en algunas rocas.

Este mismo caso, aplicado a tierras cocidas a una temperatura superior al punto de Curie de sus elementos (769°C en el hierro, 580°C en la magnetita, 1130°C en el cobalto y 354°C en el níquel) y dejadas enfriar bajo la acción de un campo constante se denomina imantación termo-remanente y es la que nos interesará en alguno de los casos de prospección arqueológica.

84	7	8	7	6	5	4	5	4	6	8	9	3	4	4	4
7	92	92	91	9	9	8	90	5	6	92	90	5	4	5	5
7	5	6	7	6	5	8	7	7	7	94	91	5	4	5	5
6	5	7	6	7	6	7	7	7	7	9	8	5	5	7	5
1	0	2	3	5	6	4	5	4	4	5	6	3	4	6	4
5	5	5	7	6	5	5	5	5	4	5	4	4	4	3	4
2	5	6	6	5	5	3	2	2	3	3	4	5	5	5	5
5	5	7	7	7	9	4	3	3	4	6	0	2	3	2	2
7	6	8	90	90	93	9	6	6	5	5	4	1	2	0	1
4	6	7	92	8	9	7	7	5	6	5	3	4	5	4	2
8	90	4	6	8	7	8	7	7	7	7	6	6	6	6	7
3	2	3	2	3	3	3	3	3	4	3	6	2	2	3	4
4	3	1	2	2	1	4	3	3	1	5	6	3	5	6	3
3	4	2	4	2	3	5	3	2	4	4	6	4	5	6	3
79	3	5	4	2	4	4	4	5	5	4	8	1	2	2	3
2	2	3	2	6	2	3	1	2	3	3	2	6	4	2	4

LA DEHESA TARAZONA
26-3-1982

44784nt es el valor normal del CMT

1

Por otro lado, podemos decir que el comportamiento de las distintas rocas no es igual, dependiendo de su génesis el que estén o no magnetizadas. Así, algunas tienen una imantación propia o inducida por el campo magnético terrestre existente durante su formación. Las más magnéticas son los gabros y basaltos; medianamente magnéticas los granitos, y poco o nada magnéticas las arcillas y calizas.

Para la aplicación del método magnético en la prospección arqueológica es necesario conocer la constitución litológica del suelo, ya que de encontrarnos con rocas integradas por minerales magnéticos como magnetita o biotita las anomalías detectadas corresponderían a éstos y no a ningún vestigio enterrado.

Es preciso también que el yacimiento a explorar no esté enclavado dentro de núcleos urbanos, ni próximo a líneas de ferrocarril electrificadas, ni a líneas eléctricas de alta tensión o, en general, junto a masas metálicas móviles. Como vemos, la utilización del método está limitada, pero hay numerosos yacimientos que reúnen las condiciones apropiadas.

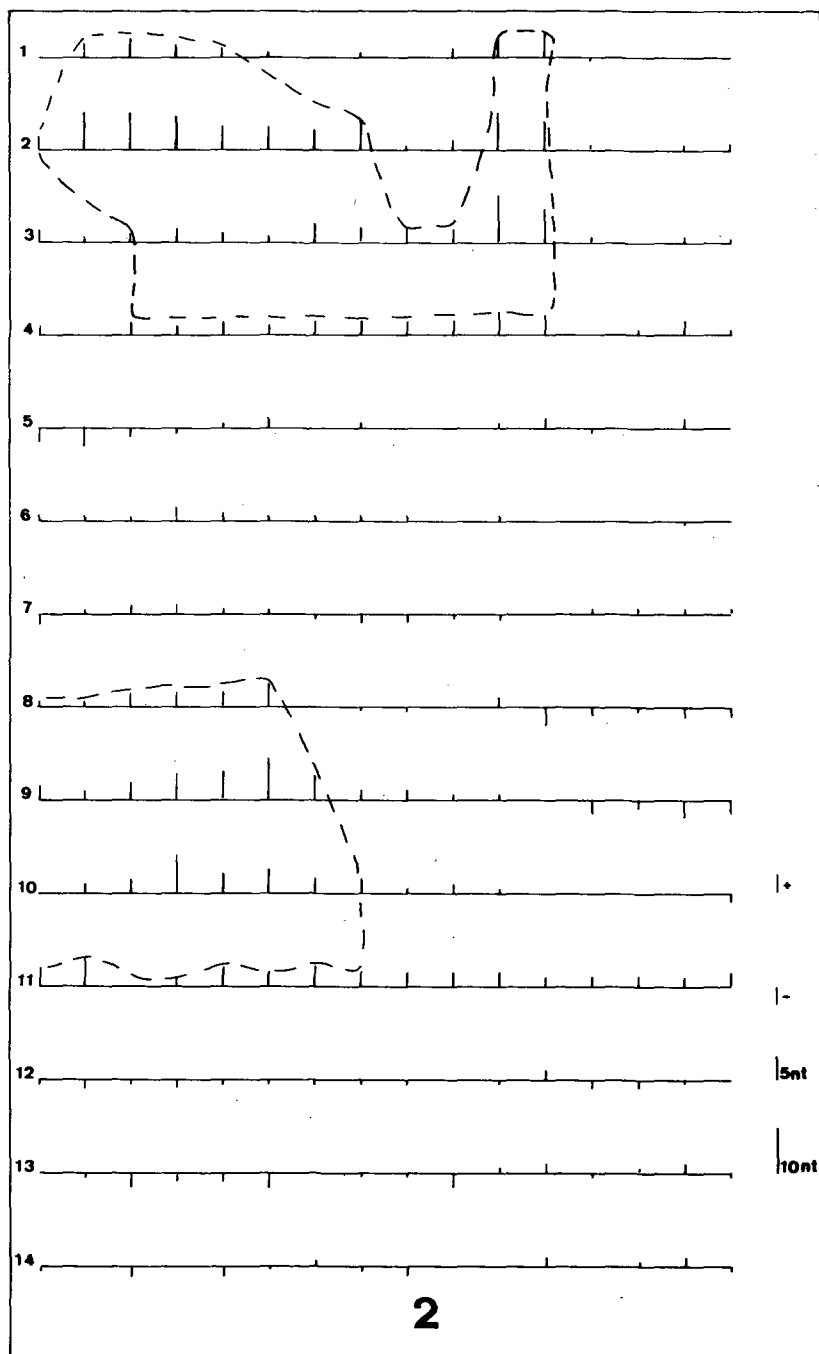
También tiene sus limitaciones en cuanto a los restos que se presuman a aparecer en el yacimiento, pues, como ya hemos podido entrever, *los distintos materiales tienen distinta imantación remanente o propia, y la respuesta es distinta.*

El método de prospección magnética consiste en utilizar un fenómeno ligado al momento magnético de los núcleos de hidrogeniones (protones). Estos, contenidos en un volumen de agua y sometidos a la acción de un campo magnético artificial de distinta dirección a la del campo magnético terrestre, y de mayor intensidad, toman la dirección del campo artificial. Cuando se anula éste, los protones vuelven a su primitiva posición produciéndose este cambio en forma de un movimiento de precesión cuyo período está en función del campo magnético terrestre. Al medir este período por métodos electrónicos, el aparato nos indica en nT (nanoteslas) el valor del campo.

El aparato así construido (magnetómetro de protones) es el utilizado en el método que nos ocupa.

Refiriéndonos a la prospección que se hizo durante el Seminario, hemos de decir que se eligió un espacio en el paraje de "La Dehesa" próximo a una excavación ya iniciada basándonos en la posibilidad de que el yacimiento continúe en el sentido elegido para llevar a cabo la determinación de los valores del campo magnético terrestre.

Litológicamente, la zona estudiada está formada por una alternancia de conglomerados, arcillas y limos rojos, en los que predominan los conglomerados dispuestos en bancos lenticulares bastante persistentes en los que se intercalan finos niveles de arcillas y limos así como de areniscas que remarcan



la estratificación. Los cantos y bloques están englobados en un cemento calizo bastante coherente, siendo la matriz arenosa.

Lo que se pretendía detectar era estructuras o muros similares a los ya descubiertos, siendo estas formaciones las que producen una menor variación en el valor del campo magnético al no haber adquirido un magnetismo remanente en su formación, pues están constituidos por rocas del terreno, que, como hemos visto en su litología, es un material carente de magnetismo.

A este respecto se pueden establecer algunas categorías de restos enterrados que muestran, de mayor a menor, el grado de magnetización, detectándose cuando se encuentran enterrados una mayor anomalía.

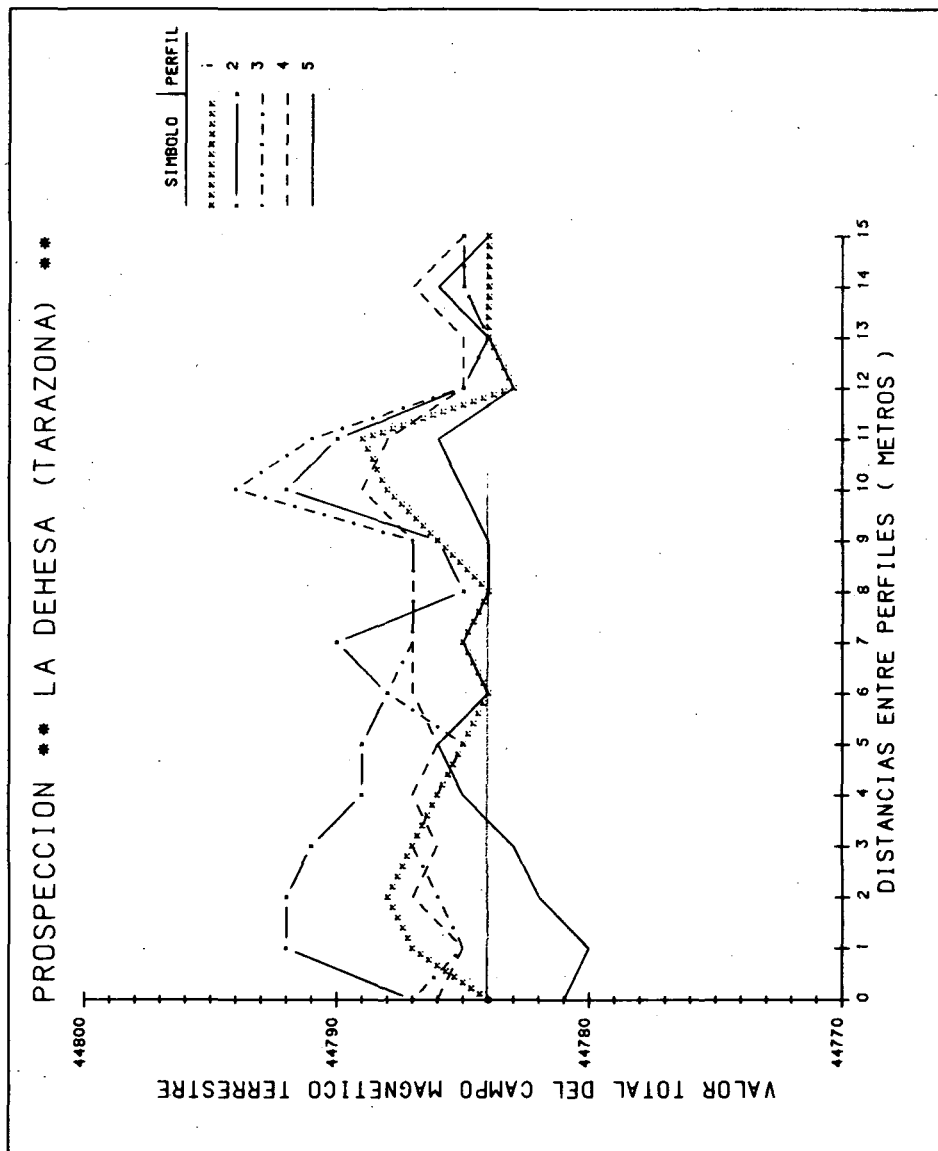
1. Objetos de hierro. La anomalía depende del peso del objeto y de su distancia a la superficie.
2. Estructuras quemadas. Hornos, fogones y materiales que lleven arcillas cocidas, tales como ladrillos.
3. Pozos, zanjas y pozos rellenos con tierra vegetal o escombros.
4. Muros, cimientos, y tumbas sin ajuares de hierro.

Una vez elegido el lugar de la prospección, se trazó sobre él una cuadrícula de 15 x 15 metros para procederse después a la determinación del valor del campo magnético terrestre en los vértices de cada cuadro.

Previamente se determinó el valor total del campo en los vértices del total del espacio a estudiar siendo éste de 44784 nT . Se observaron a continuación el resto de los nudos de la cuadrícula y al final de nuevo se observaron los puntos externos para calcular la variación que había sufrido durante el tiempo que duró toda la observación. Esta diferencia en las lecturas era de -9 nT , por lo que ha sido preciso una corrección lineal de todos los valores en las observaciones directas, comenzando la corrección desde el perfil 1 y terminando en el perfil 16 que, respectivamente, fueron el primero y último en la medida.

En el cuadro 1 figuran los datos, ya corregidos, de la matriz correspondiente a la cuadrícula observada. Para una mejor claridad en la lectura de los mismos, se ha colocado la última cifra del valor total del C.M.T. (Campo Magnético Terrestre), siendo las anteriores 4478-, es decir, que para un valor 44784 figura en el cuadro 4. Como en algunos casos se ha sobrepasado la decena 8, se han colocado las dos últimas cifras, así, el 90 corresponde a un valor de 44790 nT .

Teniendo en cuenta que el valor medio del C.M.T. en la zona estudiada es de 44784, los valores que lo superan serán positivos, y los que no llegan serán negativos.



Representando estos valores con su signo en otro gráfico, cuadro 2, obtenemos un dibujo del conjunto de anomalías positivas y negativas que nos permiten comparar todo el espacio prospectado y los valores entre sí.

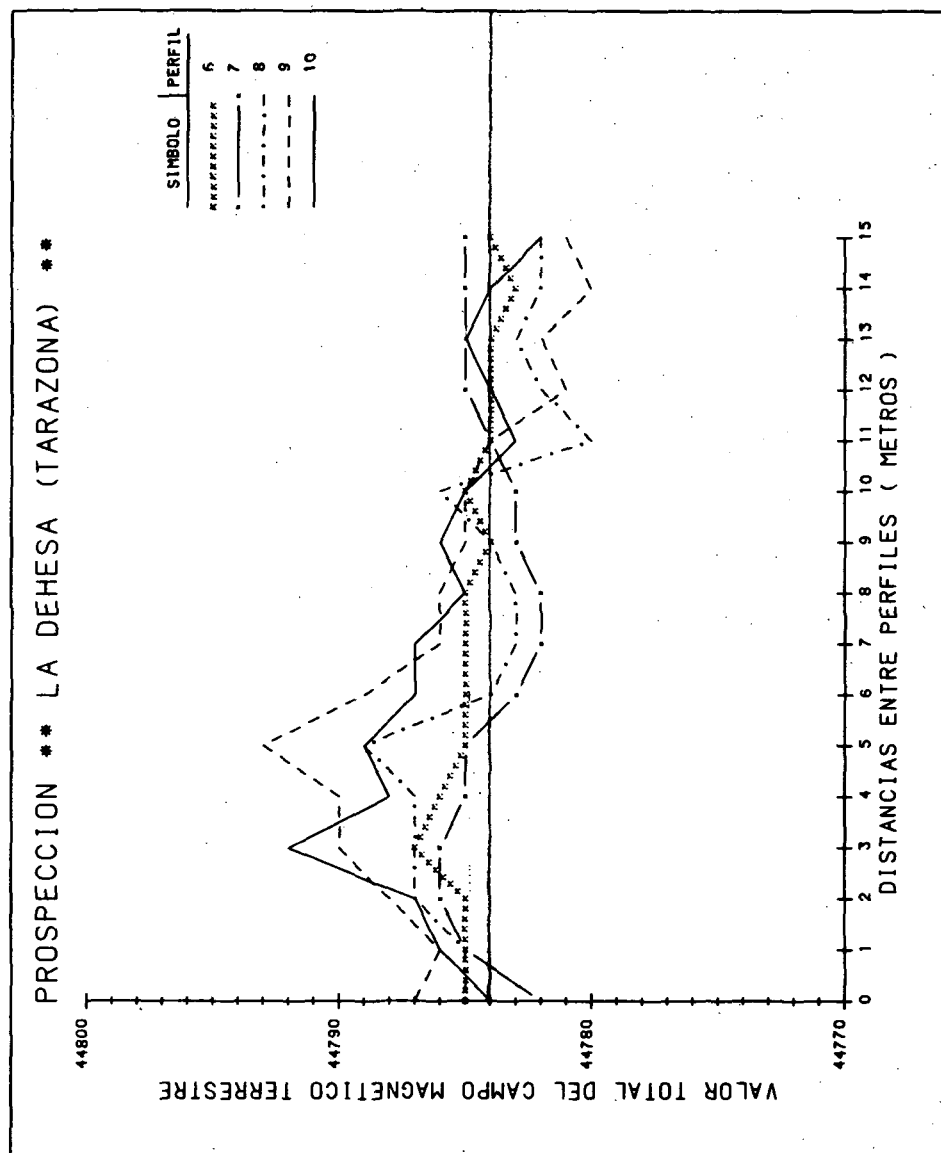
De esta observación conjunta se llega a una serie de conclusiones que nos pueden ayudar a la interpretación del trabajo realizado. Para este caso concreto estas serían:

1. La zona estudiada presenta unos valores anómalos muy pequeños.
2. Estas anomalías podemos asegurar que no corresponden a materiales metálicos enterrados, salvo que éstos se encuentren a bastante profundidad (más de 1,50 metros) y sean de pequeñas dimensiones.
3. Hay dos zonas claramente diferenciadas del resto, que han sido delimitadas por una línea discontinua. Podrían corresponder a estructuras o muros construidos con materiales con un mayor grado de magnetismo que el resto.
4. Se puede iniciar una excavación en una cuadrícula de dimensiones no excesivamente grandes en las zonas de anomalías positivas para comprobar la causa que las produce, y, a partir de los resultados, llegar a la conclusión de si es interesante o no seguir la excavación del espacio estudiado.

Como vemos, el método es correcto, aun a pesar de que se pueda llegar a una prospección negativa, ya que las observaciones geofísicas han durado algo más de una hora en total y permiten iniciar una búsqueda en un lugar que no es tomado indiscriminadamente, resultando, de lo que en este lugar prospectado aparezca, interesante o no la continuidad de la excavación.

Cuando los objetos que tratamos de encontrar son de hierro, las anomalías son grandes y en los gráficos similares al del cuadro 2 se detectan a lo largo de varios perfiles, pudiendo determinarse incluso la dirección de la misma.

En nuestro caso, se procedió a la apertura en el terreno de una cuadrícula de 1 x 1 metro en el perfil N.º 10, columna 3, para verificar si próximo a la superficie había algún indicio que justificase la anomalía de esa zona. Se excavó hasta unos 20 cm. de profundidad, apareciendo una capa de arena y arcilla uniforme en superficie y otra de carbonato cálcico que parece dispuesta horizontalmente y pudiera corresponder a un depósito del carbonato contenido en el horizonte superior del suelo que, por precipitación, ha sido lavado y posteriormente depositado en un horizonte inferior. Se procedió a la toma de una muestra de dicho material para su análisis. Asimismo, se tomó una muestra de una de las rocas que forman parte del muro de las viviendas ya excavadas para su comparación. El resultado de dicho análisis es que se trata de carbonato cálcico en ambos casos.



En una representación por perfiles para su comparación, hoy día es posible efectuarla por medio de "plotter" a través de ordenador. Como es fácil deducir, en el campo no podemos disponer de estos métodos, pero no debemos renunciar a ellos dado que la excavación se puede realizar con bastante tiempo de espera que permita una correcta interpretación de los resultados antes de su iniciación.

Hemos representado los valores obtenidos en la matriz del cuadro 1 por medio de un "plotter" en un Ordenador Facom del Instituto Geográfico Nacional, y los resultados son los que figuran en los cuadros 3, 4, 5 y 6. En el eje de abscisas se han representado los puntos observados en campo, a un metro de distancia entre ellos, siendo los nudos de la red cuadrada. En el eje de ordenadas figuran los valores del C.M.T. en nT , representando 1 nT 0,5 cm.

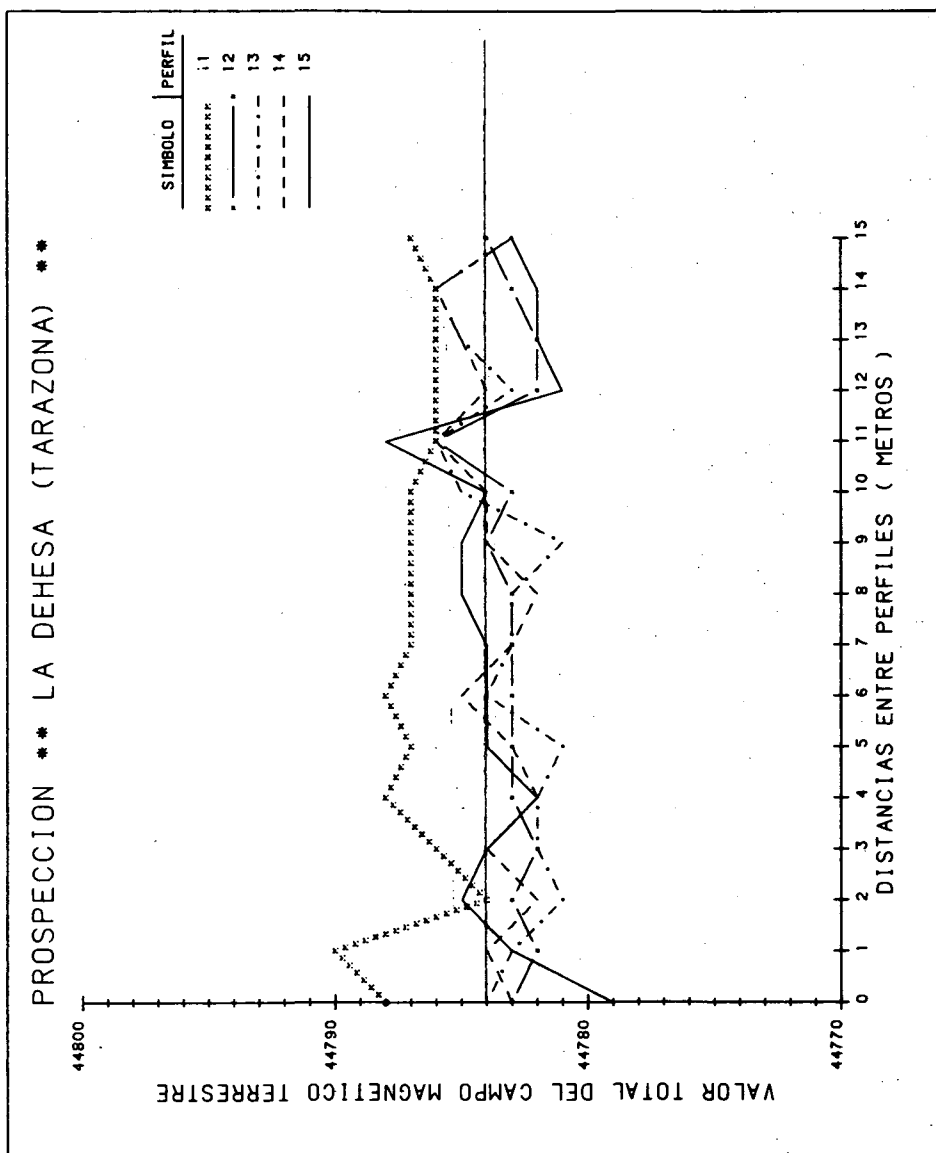
El programa que realiza el dibujo está preparado para un número ilimitado de gráficas, y, una vez conocidas las dimensiones del eje de abscisas en cm., calcula la división entre perfiles dependiendo del número de éstos. En ordenadas, calcula el origen a partir de los valores máximo y mínimo de los nudos de la red.

En este caso concreto, dado que las variaciones de los valores entre sí son muy pequeñas, se ha elegido una escala adecuada para que las diferencias aparezcan muy exageradas. El valor medio del C.M.T., que corresponde a 44784 nT ha sido representado mediante una línea horizontal para que se puedan comparar con él el resto de los perfiles, siendo de fácil interpretación las tendencias positivas o negativas de los mismos.

En el cuadro 3 se aprecian claramente las anomalías positivas en los metros 10 y 11 de los perfiles 1, 2 y 3 que han ido aumentando en ese orden para disminuir en los perfiles 4 y 5 hasta adquirir un valor normal. Si se compara con el gráfico del cuadro 2 vemos la coincidencia en la distribución de los máximos y mínimos.

En los cuadros sucesivos podemos seguir la interpretación de los perfiles siguientes.

Se pueden representar los valores mediante otros métodos de dibujo, bien por impresora si el ordenador no tiene el dispositivo "plotter" o por signos que den una mayor o menor sombra a las anomalías positivas o negativas. También se pueden hacer a mano isolíneas que nos mostrarán las distintas tendencias hacia un signo u otro en el espacio medio, pero estos detalles los dejamos a la elección de la persona que haga el estudio, a sus posibilidades y a la comodidad en la "visión" que encuentre más clara para una mejor interpretación.



Dado que el método magnético no es el único utilizado en la prospección arqueológica, también se explicó el fundamento del método eléctrico.

Por medio de la Prospección eléctrica determinamos la resistividad de las capas superficiales al paso de una corriente eléctrica entre dos electrodos. Los suelos, en condiciones favorables de humedad, permiten la propagación de corrientes eléctricas, dependiendo de las características propias de su composición la mejor o peor conductividad.

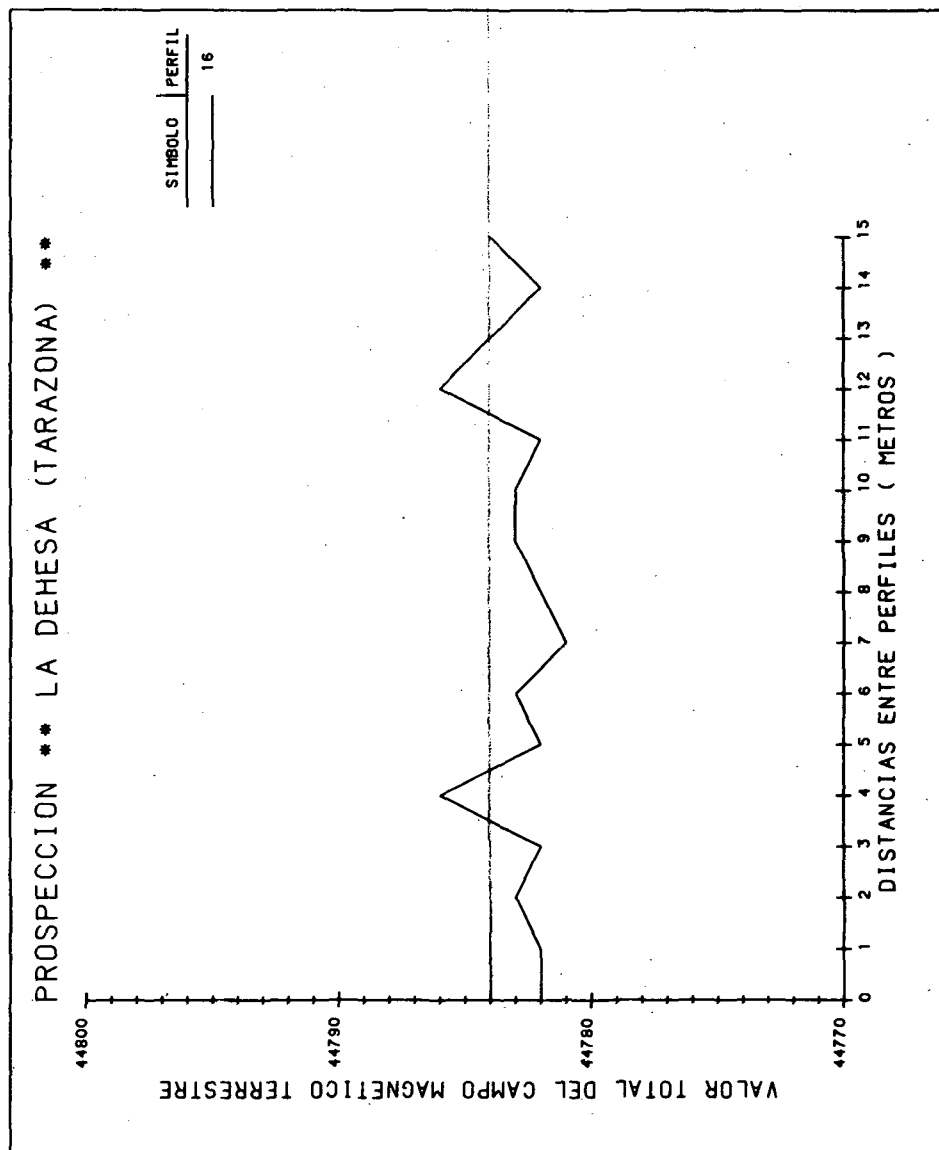
El método consiste en hacer pasar en el terreno una corriente eléctrica conocida a través de dos electrodos A y B (fig. 8), midiendo la tensión conseguida en un segundo par de electrodos M y N. Esta disposición es conocida como "dispositivo WENER", pues mantiene fijas las distancias AM y NB. La profundidad de terreno explorada así dependerá de la distancia entre electrodos y se puede determinar trazando una esfera de radio OA, estando situado el punto O en el centro de los electrodos MN, así, para hacer una CALICATA (que así se llama este tipo de prospección) a una profundidad de 1,50 metros será necesaria una separación de electrodos de 1 metro, ya que el radio de la esfera será $R = d + d/2$.

Se presenta de gran utilidad en la búsqueda de yacimientos arqueológicos por cuanto esas formaciones presentan, por lo general, una resistividad eléctrica diferente de la del terreno en que están sepultadas.

La fórmula para el cálculo de la resistividad es $\rho = 2\pi d \frac{V}{I}$. De ella conocemos el valor de la distancia entre electrodos "d" y los valores de V y de I, ya que corresponden a los voltios que constituyen el equipo de observación dipuestos como se indica en la figura. Los valores obtenidos se van calculando en campo, ya que se trata de una operación simple, y en papel semilogarítmico se representan en un sistema de ejes coordenados.

En el eje de abscisas se colocan los perfiles, que normalmente estarán a una distancia de 1 metro, pudiendo variar ésta en función de la profundidad a que queramos llegar, y en el eje de ordenadas se sitúan los valores de la resistividad aparente en ohmios/metro. La curva resultante se compara para su interpretación con una serie de curvas patrón, determinando así a qué causa son debidos los máximos o mínimos de la misma.

Dentro del seminario se procedió a la observación, mediante una calicata eléctrica, del comportamiento del terreno al paso de la corriente en el paraje llamado Cabezolleros. Se utilizó un aparato propiedad de uno de los miembros del Centro de Estudios Turiasonenses consistente en un Voltímetro Geotrón, un amperímetro y cuatro electrodos de cobre. La batería utilizada fue la de un coche, de 12 voltios, transformados a 220 mediante un equipo preparado al efecto.



Se observaron dos perfiles paralelos, con una disposición de electrodos de un metro de separación siguiendo el método WENER.

Los valores obtenidos fueron los siguientes:

Perfil	I	V	Resistividad aparente
1	270	102	2,37
2	260	96	2,32
3	200	75	2,35
4	220	91	2,60
5	210	73	2,18
6	230	100	2,73
7	220	99	2,83

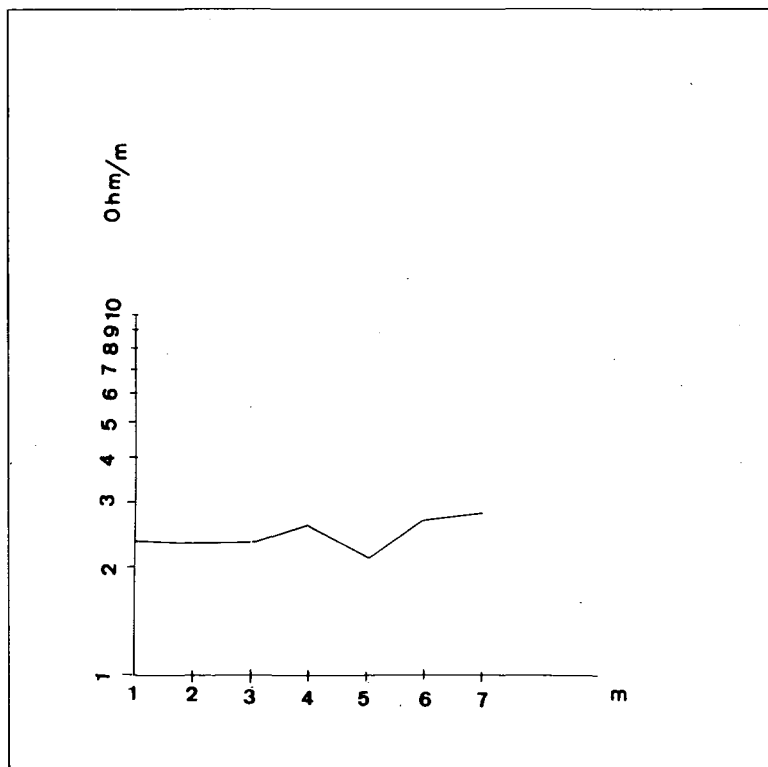
Este perfil se encontraba sobre unas tumbas todavía no excavadas que afloran en un talud del terreno.

Tras su representación sobre papel semilogarítmico (figura 7) se manifestó la discontinuidad en la gráfica debida a una anomalía en el paso de la corriente a través de la formación.

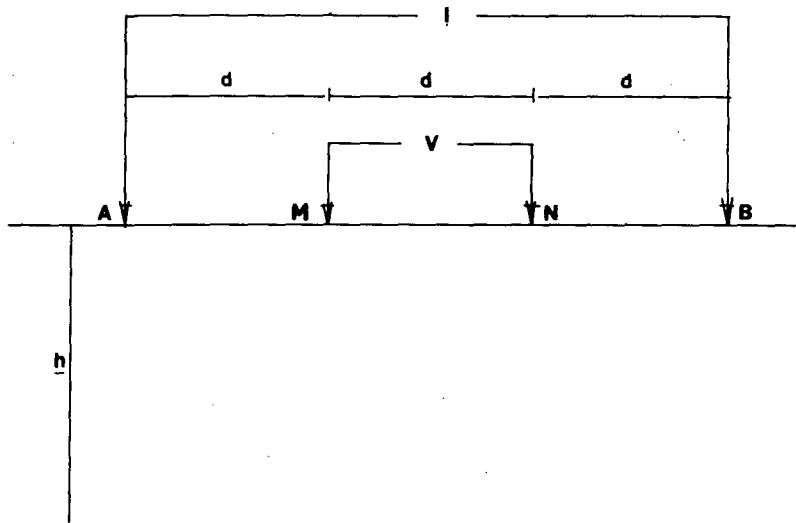
Para finalizar, puedo decir que en España son todavía escasamente conocidos los grupos de técnicos que utilizan la Geofísica como técnica auxiliar en Arqueología, habiéndose dedicado, hasta ahora, a la búsqueda de recursos naturales en minería.

Tampoco el arqueólogo conoce estas técnicas quizás porque no ha tenido ocasión de practicarlas de cerca y por el "miedo" a enfrentarse a algo que le resulta muy alejado de sus conocimientos, por pertenecer académicamente a una rama tan distinta de las letras como es la física, pero de estos seminarios se pueden sacar conclusiones como que todos los nombres técnicos no son tan complicados cuando se les conoce de cerca.

Ya es positivo que las "letras" soliciten la ayuda de las "ciencias" entendidos estos términos bajo un punto de vista exclusivamente académico, y deseamos que cada día estos encuentros fructifiquen en un mejor conocimiento para adentrarnos en nuestro pasado.



7



8

BIBLIOGRAFIA

- LOGACHEV, A. A. y ZAJAROV, V. P., *Exploración Magnética*, Versión española por Juan González Montero, Ed. Revreté, Barcelona, 1978.
- MIGUEL, Luis de, *Geomagnetismo*, Instituto Geográfico Nacional, 3ª ed., Madrid, 1980, pp. 7, 20, 29 y 88.
- MINISTERIO DE INDUSTRIA, Hoja 320, 1:50.000 del *Mapa Geológico de España*, C.S.G., 1972.
- ORELLANA, Ernesto, *Prospección Geoelectrica en corriente continua*, Ed. Paraninfo, Madrid, 1972, pp. 352 y ss.
- SANZ NUÑEZ, Alfonso C., *Técnicas de Aplicación en Prospecciones Arqueológicas*, "Revista Técnica Topográfica núm. 36", Julio-Agosto 1980, pp. 4, 5 y 6.
- *Prospección Geofísica aplicada a la Arqueología partiendo de los valores obtenidos en los nudos de una red cuadrada*, Comunicación presentada en la Reunión de Metodología sobre investigación en Arqueología prehistórica, Soria 9-12-1982, en prensa.