
**PROSPECCIÓN GEOFÍSICA EN EL
ANFITEATRO ROMANO DE CARTAGENA
(MURCIA)**

Vicente Calleja, Mar Astiz, Ascensión Valentín

ENTREGADO: 1987

PROSPECCIÓN GEOFÍSICA EN EL ANFITEATRO ROMANO DE CARTAGENA (MURCIA)

VICENTE CALLEJA, MAR ASTIZ, ASCENSIÓN VALENTÍN

Laboratorio de Instrumentación Geofísica. Museo Nacional de Ciencias Naturales (C.S.I.C.)

Desde 1986 se ha reiniciado el proyecto de investigación "Estudio Geofísico de Yacimientos Arqueológicos" dentro del marco del convenio de colaboración establecido entre el Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales del Ministerio de Cultura y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Este proyecto, iniciado en 1980, desarrollado por el equipo de investigación del Laboratorio de Geofísica e Instrumentación del M.N.C.N. y tiene por objeto el desarrollo y aplicación de métodos geofísicos específicos para la prospección arqueológica. El funcionamiento, de acuerdo con la normativa establecida se concreta en el estudio de una serie de yacimientos seleccionados por el Departamento de Arqueología que concede, para ello, la subvención necesaria.

La presente memoria constituye el trabajo llevado a cabo por el citado equipo de investigación durante el años 1987. La selección de yacimientos a estudiar para 1987 fueron:

Cueva de Altamira (Santander)

Parque Arqueológico de Campa Torres (Asturias)

Anfiteatro Romano de Cartagena (Murcia)

De acuerdo con el objetivo requerido por el arqueólogo y las características físicas del problema así como de la naturaleza geológica del yacimiento, se realiza un estudio previo para seleccionar el método geofísico adecuado.

En esta fase los objetivos requeridos eran:

Cuevas de Altamira: Estudio de la estructura del subsuelo en la zona de posible emplazamiento de la réplica de la sala polícroma de dicha cueva.

Parque Arqueológico de Campa Torres: Determinación de restos urbanos de la cultura astur.

Anfiteatro Romano de Cartagena: Detección de la existencia de elementos propios de anfiteatro (foso bestiaro, vomitorios, etc.) y localización de un posible teatro romano en terrenos próximos.

Estos objetivos y las características propias de cada medio indujeron a realizar sondeos eléctricos verticales en las Cuevas de Altamira, levantamientos magnéticos en el Parque Arqueológico de Campa Torres y levantamientos magnéticos y calicatas eléctricas en el Anfiteatro Romano de Cartagena.

MÉTODOS MAGNÉTICOS

Las anomalías magnéticas existentes en yacimientos arqueológicos son consecuencia del contraste de las propiedades magnéticas entre los rasgos culturales de interés y el medio que los rodea. Ambos elementos están normalmente compuestos de materiales de origen natural tales como rocas, suelo o, incluso, espacios vacíos, cuyas características magnéticas son, evidentemente, diferentes. De entre todas las modalidades de métodos magnéticos los de mayor eficacia para los yacimientos arqueológicos son los estudios de magnetización remanente y la medida del campo magnético terrestre (de su valor total o de alguno de sus componentes) mediante magnetómetros. La magnetización remanente depende de las propiedades metálicas y de la historia térmica, mecánica y magnética del material y es independiente del campo en el

cual se mide. Esta magnetización es la que se estudia en paleomagnetismo.

La utilización de magnetómetros para la medida del campo magnético terrestre tiene por objeto la identificación y descripción de cambios espaciales en el campo terrestre. Estas variaciones espaciales (anomalías) son debidas a distribuciones anómalas de minerales magnéticos, a objetos de hierro o rasgos culturales de interés. Las anomalías observadas en yacimientos arqueológicos dependen del tamaño y distancia de los objetos a detectar y están afectadas por los constantes cambios naturales del campo. La aplicación de magnetómetros en prospección arqueológica puede ayudar a un programa arqueológico de varias formas. La más obvia, es la localización de construcciones ocultas con más rapidez y economía. Sin embargo, el método tiene sus limitaciones ya que, en ocasiones, las construcciones pueden no presentar un contraste magnético detectable o el medio magnético del subsuelo puede enmascarar la presencia de otros materiales. Prescindiendo de los casos muy obvios, en general, es necesario realizar la prospección para poder llegar a estas condiciones tan negativas.

La operación en campo se realiza estableciendo mallas de longitud variable midiendo en perfiles paralelos metro a metro. Debido a los principios teóricos del método, es necesario realizar medidas de cierre, esto es, medir en uno o más puntos de la red en varias ocasiones, pudiendo, con ello, controlar las variaciones naturales del campo magnético terrestre en esa zona (variaciones diurnas, tormentas magnéticas, etc.) Con los valores del campo obtenidos en los cierres, se realiza una corrección de datos. Esta primera reducción es el inicio del tratamiento que de acuerdo con la magnitud de las anomalías detectadas puede realizarse de diferente forma. En general, se pueden estudiar los perfiles de forma independiente y más tarde se correlacionan mediante el cálculo de factores de correlación si ello es posible. Cuando la superficie estudiada es extensa es necesario realizar un tratamiento matricial. La representación de mapas de anomalías es la última etapa del procesado pudiéndose obtener diferentes aproximaciones hasta conseguir la óptima definición de las zonas anómalas.

MÉTODOS ELÉCTRICOS

Basados en la medida de la resistividad de los materiales del subsuelo, mediante el empleo de fuentes de corriente artificiales y estudiando el campo de potenciales originado.

En general, el principio de operación consiste en el empleo de cuatro electrodos, dos para la inyección de corriente en el terreno y dos para la medida del potencial resultante en el mismo. Una resistividad aparente se calcula a partir de la intensidad y el potencial medido de acuerdo con una expresión que depende de la disposición electródica empleada. Existen diversas configuraciones electródicas y su elección depende del tema de estudio. En prospección arqueológica se emplean los sondeos eléctricos verticales (S.E.V.) con dispositivo Schlumberger y las calicatas eléctricas con dispositivo Wenner.

El sondeo eléctrico vertical consiste en variar la apertura de un dispositivo sin modificar el punto de atribución alcanzado cada vez profundidades mayores.

La información aportada por un sondeo eléctrico se expresa como resistividad aparente en función de la apertura, pues el cálculo de las penetraciones no es inmediato y exige la imposición de hipótesis restrictivas.

Una malla de sondeos permite establecer simultáneamente mapas de resistividad correspondientes a las distintas aperturas.

El dispositivo Schlumberger es el más popularizado en Europa para la realización de sondeos eléctricos verticales (S.E.V.) ya que permite trabajar desplazando sólo los dos electrodos de corriente, si bien a expensas de la relación señal-ruido, que obliga al empleo de fuertes generadores.

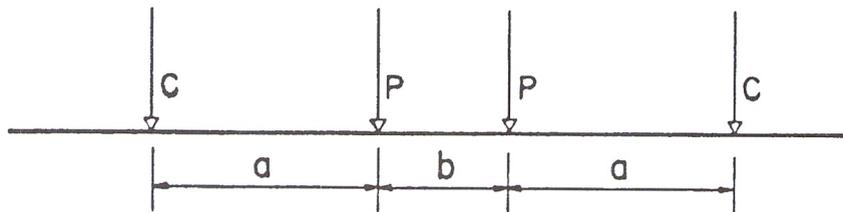
Una variante de éste es el dispositivo Hummel en el que se desplaza uno de los electrodos de corriente de modo que su efecto sobre los de potencial sea nulo. Si el desplazamiento se realiza perpendicularmente a la línea tenemos el Hummel ortogonal, y si es en su dirección el Hummel o Schlumberger Asimétrico que permite realizar sondeos en área reducidas.

El calicateo eléctrico consiste en la aplicación repetida de un determinado dispositivo con parámetros geométrico fijos barriando la zona de estudio. La penetración y resolución están en función de la configuración adoptada, por lo que es conveniente la realización de pruebas a fin de optimizarlo.

La operación de campo se realiza estableciendo mallas de longitud variable midiendo en perfiles paralelos, desplazando todo el dispositivo.

Para las calicatas eléctricas se utiliza el dispositivo Wenner caracterizado por el empleo de cuatro electrodos separados una distancia a . Su interés radica en la buena relación señal/ruido (información útil/perturbaciones) si bien la necesidad de tener que desplazar cuatro electrodos en cada

Configuración electródica del Dispositivo SCHLÜMBERGER

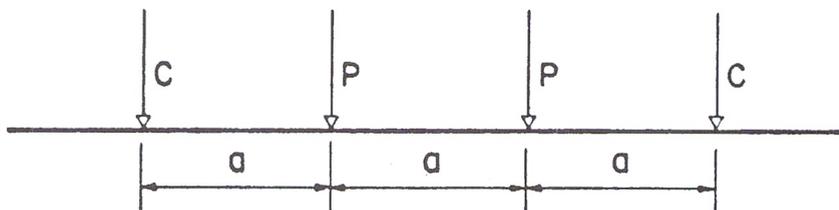


$$\rho_a = 2\pi \cdot \frac{a(a+b)}{2b} \cdot \frac{V}{I}$$

C: Electrodo de corriente

P: Electrodo de potencial

$$\rho_a = 2\pi a \frac{V}{I}$$



Configuración electródica del Dispositivo WENNER

medida limita el rendimiento especialmente para grandes aperturas.

PROCESO DE DATOS

La problemática de la investigación geofísica aplicada a la arqueología radica en un 80% en la capacidad de procesado de los datos obtenidos en las campañas de campo y que es independiente a la técnica de prospección utilizada.

Las causas están en el bajo contraste que presentan los materiales, a su pequeña extensión y a la concentración de los mismos. Por ello se procede a realizar trabajos de detalle que conducen a un número muy grande de datos que sólo son susceptibles de tratar mediante ordenador.

Por ejemplo cuando se pretende determinar objetos de 1 m² la frecuencia de corte obliga a un paso de malla de 0,5 m que para una extensión de 100 x 100 metros supone 40.000 datos. Una prospección de este tipo sólo puede resultar rentable cuando el equipo de campo es capaz de generar un soporte compatible directamente con el ordenador.

El proceso de reducción se inicia corrigiendo las derivas de la instrumentación de campo y aplicando las ecuaciones propias del método. Durante este proceso se corrigen mediante orlado los posibles ceros y saturaciones que pueden existir en los datos de campo y que de pasar a las siguientes etapas del proceso provocan errores y las consiguientes interrupciones de cálculo.

El tratamiento en el espacio directo se realiza siempre, ya que es una representación inmediata de los datos de campo. En muchos casos se realizan simultáneamente al proceso de medida. Se trata de construir una carta con los datos obtenidos, para ello se utilizan cualquiera de los algoritmos de variable regionalizada con funciones de interpolación y con parámetros ajustados a las dimensiones de los posibles objetos causantes de las mismas.

El proceso se completa con algoritmos de reconocimiento de formas, en nuestro caso alineaciones y combinaciones de las mismas. Finalmente los sistemas de representación gráfica exigen llegar a un compromiso entre resolución gráfica (número) y definición (longitud) de los PIXEL (elemento de imagen), siendo suficientes 4047 (71 x 57) en color y 512 x 256 en blanco y negro.

La adquisición de datos para el tratamiento se realiza de diferentes formas en función del dispositivo utilizado. El magnetómetro permite un volcado automático sobre un computador de su memoria de almacenamiento por lo que un pro-

grama de adquisición de datos permite la obtención de los datos formateados y almacenados en disco. Para los métodos eléctricos la adquisición se debe realizar mediante la edición de un archivo con introducción manual de los datos.

Estos datos se procesan en los diversos programas de corrección de derivas hasta generar matrices de datos ya preparados para representación gráfica. Utilizando programas standard de generación y representación gráfica de isolíneas se obtienen gráficas, superponibles a los planos de la zona en estudio, de las anomalías geofísicas más características detectadas.

ESTUDIO DEL ANFITEATRO ROMANO DE CARTAGENA (MURCIA)

En este yacimiento se pretendía detectar la existencia de elementos propios de anfiteatro (foso bestiaro, vomitorios, etc.) y la localización de un posible teatro romano en terrenos próximos. La localización de este yacimiento, situado en el centro del casco urbano de Cartagena, aconsejó la utilización de métodos eléctricos en todo el yacimiento y la realización de una magnetometría de referencia en el interior de la plaza de toro.

TRABAJO DE CAMPO

La magnetometría en el interior de la plaza de toros se realizó con un magnetómetro Geometrics G-856 con precisión de la décima de gamma. Se configuró una malla de 25 perfiles separados un metro, siendo la densidad de malla de 4 medidas por m². Se dispuso el sensor a 2.2 m. del suelo, siempre en dirección vertical y orientación N-S.

Como ya se ha mencionado la situación del yacimiento en pleno casco urbano anuló el empleo de esta técnica, dado que la existencia de grandes perturbaciones culturales hacía prever una baja relación señal/ruido.

La prospección eléctrica se realizó por calicateo Wenner, siguiendo cuadrículas de dimensión variable representadas en la figura 1. La separación interelectródica era de un metro (a=1 m) en el interior de la plaza, y de dos metros (a=2 m) en el resto del yacimiento.

El problema principal en la operación fue la gran dificultad que supuso trabajar con electrodos de cobre en un terreno fuertemente apelmazado como era el del aparcamiento de la Plaza del Hospital.

Dado que la toma de datos se llevó a cabo en poco tiempo no existen perturbaciones puntuales debidas a cam-

bios de humedad en el terreno como se observa en una primera revisión de las medidas con lo que se ha podido pasar directamente a su procesado.

En la figura 2 aparece el plano del yacimiento en el que se indican las zonas estudiadas.

MAPAS DE ANOMALÍAS

El proceso de datos se inicia haciendo las correcciones pertinentes exigidas por la técnica empleada y ya mencionada en los conceptos teóricos. Seguidamente, mediante tratamiento informático, se obtienen las mallas regulares de distribución de anomalías partiendo de las cuadrículas medidas.

Tras un primer análisis visual se optimizan (parámetros de ajuste, función de suavizado, etc.) para obtener una mejor definición de las anomalías y se dividen en familias en las que se representan con diferente color los máximos de los mínimos. El marco del mapa de anomalías se corresponde con las líneas de base de la cuadrícula prospectada y cada una de las separaciones que aparecen en las mismas son los metros en los que se han distribuido la malla de medidas que en todos los casos corresponde a perfiles paralelos.

Se indica el punto origen de muestreo (0,0) que se toma como referencia en caso de no existir una prefijada.

El anfiteatro de Cartagena presenta para el caso del estudio magnético, una distribución concéntrica de isolíneas que van en graduación positiva desde el borde exterior (límite del coso de la plaza de toros) hacia el interior. En principio parece que el efecto de la estructura de la plaza de toros ha impedido conseguir una buena resolución lo que no ha permitido la detección de ningún resto de interés arqueológico. Sin embargo, aparecen en la zona inferior izquierda dos núcleos claramente diferenciados y cuya interpretación no se puede precisar ya que pudiera ser algo muy superficial y perteneciente también a la actual plaza de toros. De no corresponder a esto sólo se podría asociar a una formación superficial.

El mapa de anomalías eléctricas del Anfiteatro presenta otras características al ser el calicateo eléctrico una técnica geofísica no sensible a la presencia de este tipo de efectos perturbadores. Se aprecia un máximo en el centro que pudiera asociarse con el sumidero de la plaza mientras que los otros máximos de la zona lateral derecha también indicarían agujeros de iguales características posiblemente asociados al sumidero. Las zonas de mínimos indican la presencia de terrenos más consolidados (pilares, muros, etc.). Así el lateral inferior izquierdo presenta una clara alineación que

también puede distinguirse en la zona superior derecha y aunque menos claramente en el centro inferior.

Superponiendo ambos mapas la anomalía magnética antes mencionada, corresponde a una zona de mínimos eléctricos y coincide parcialmente indicando la existencia de una estructura superficial sobre la anomalía magnética de carácter positivo (rojo, coordenadas 10.5-5) pudiendo contener algún elemento metálico o bien una acumulación de masa muy superficial.

El mapa de anomalías de la plaza del Hospital de Cartagena presenta anomalías circulares y alineaciones anómalas. Aquí la distribución de colores indica la profundidad del origen o foco de anomalía. Es decir, los máximos (rojo) indicarían niveles más superficiales (<1m) que los mínimos (azul).

La densidad de la anomalía es muy elevada complicando la interpretación del mapa ya que se pueden trazar varias alineaciones posibles. La mayor concentración de líneas cerrando circularmente parece indicar la existencia de pilares que aparecen a menores profundidades en la zona izquierda que en la derecha que, aunque más cubiertos y en menor cuantía también se detectan.

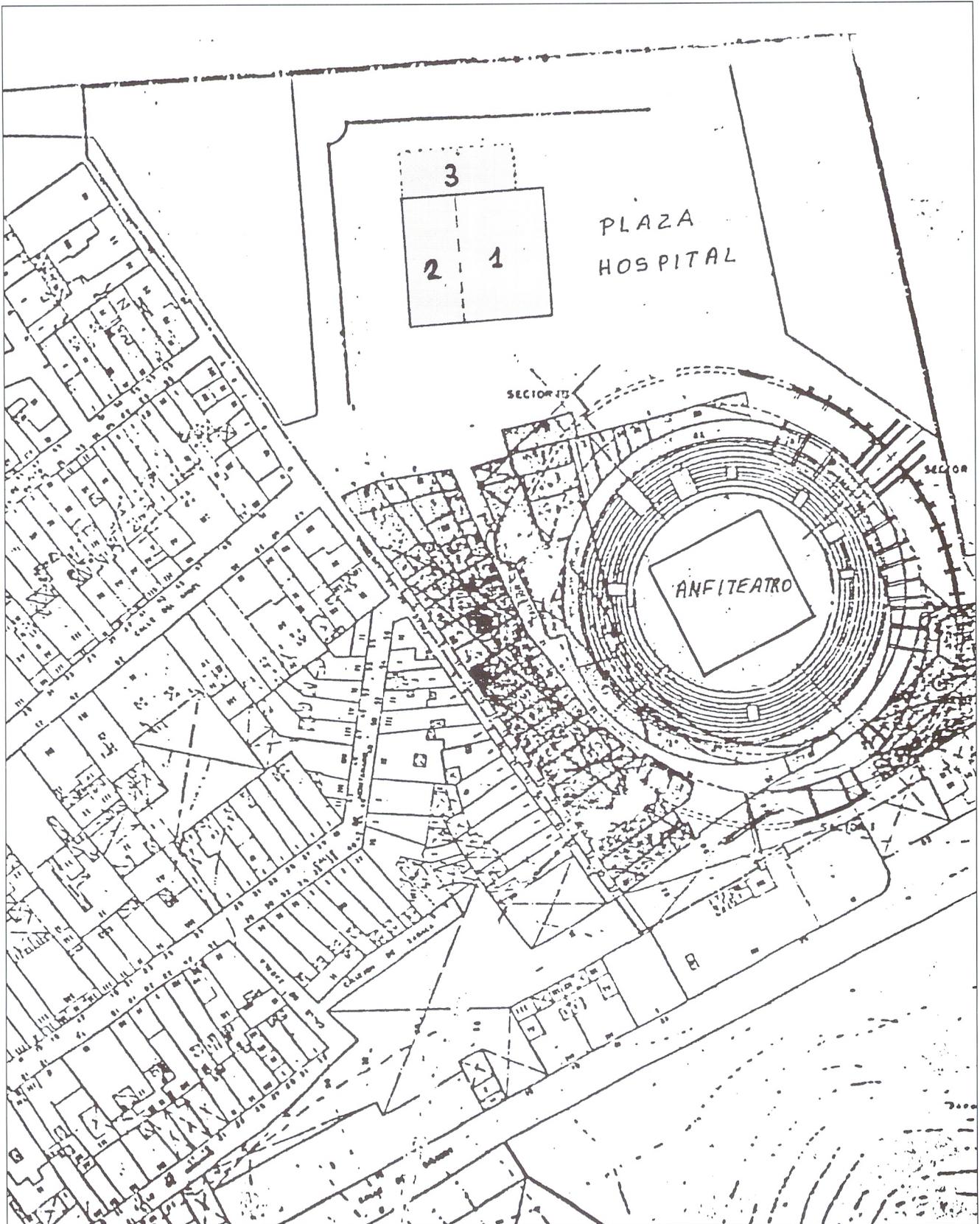


Lámina 1.- Anfiteatro: magnetometría y eléctrica. Plaza Hospital: eléctrica.

ANFITEATRO CARTAGENA MAGNETOMETRIA

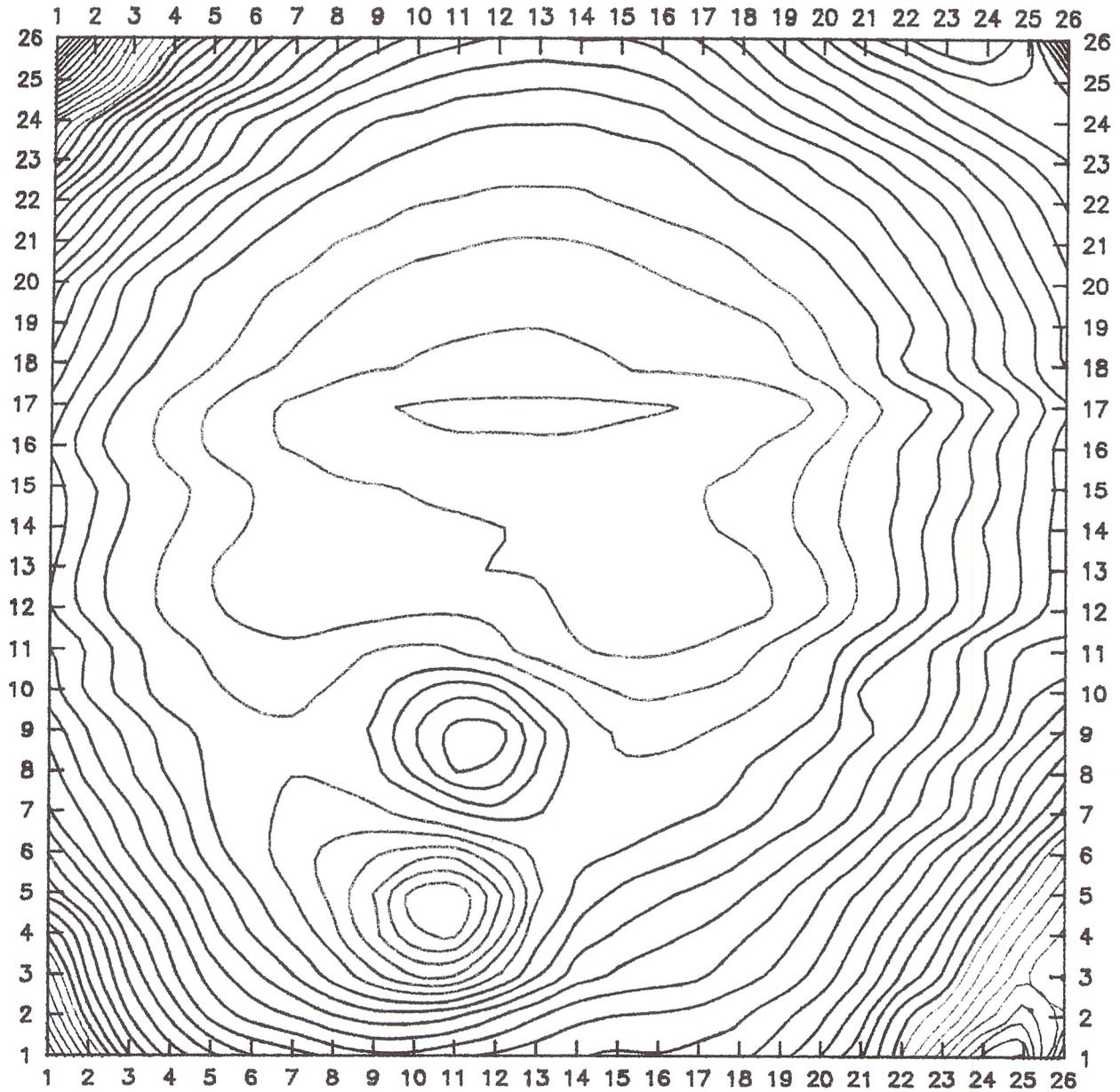


Lámina 2.

ANFITEATRO CARTAGENA ELECTRICA

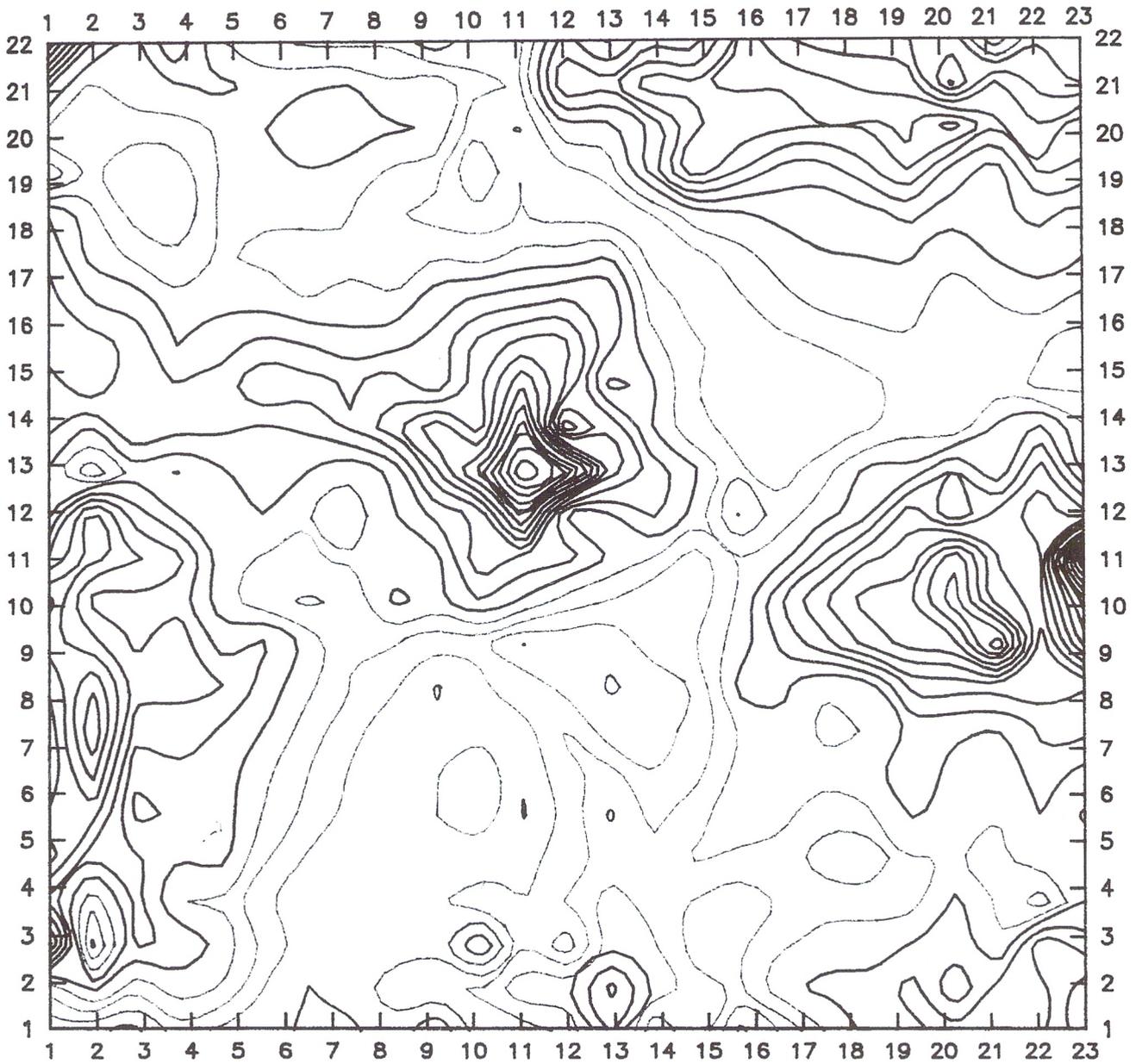


Lámina 3.

PLAZA HOSPITAL CARTAGENA ELECTRICA

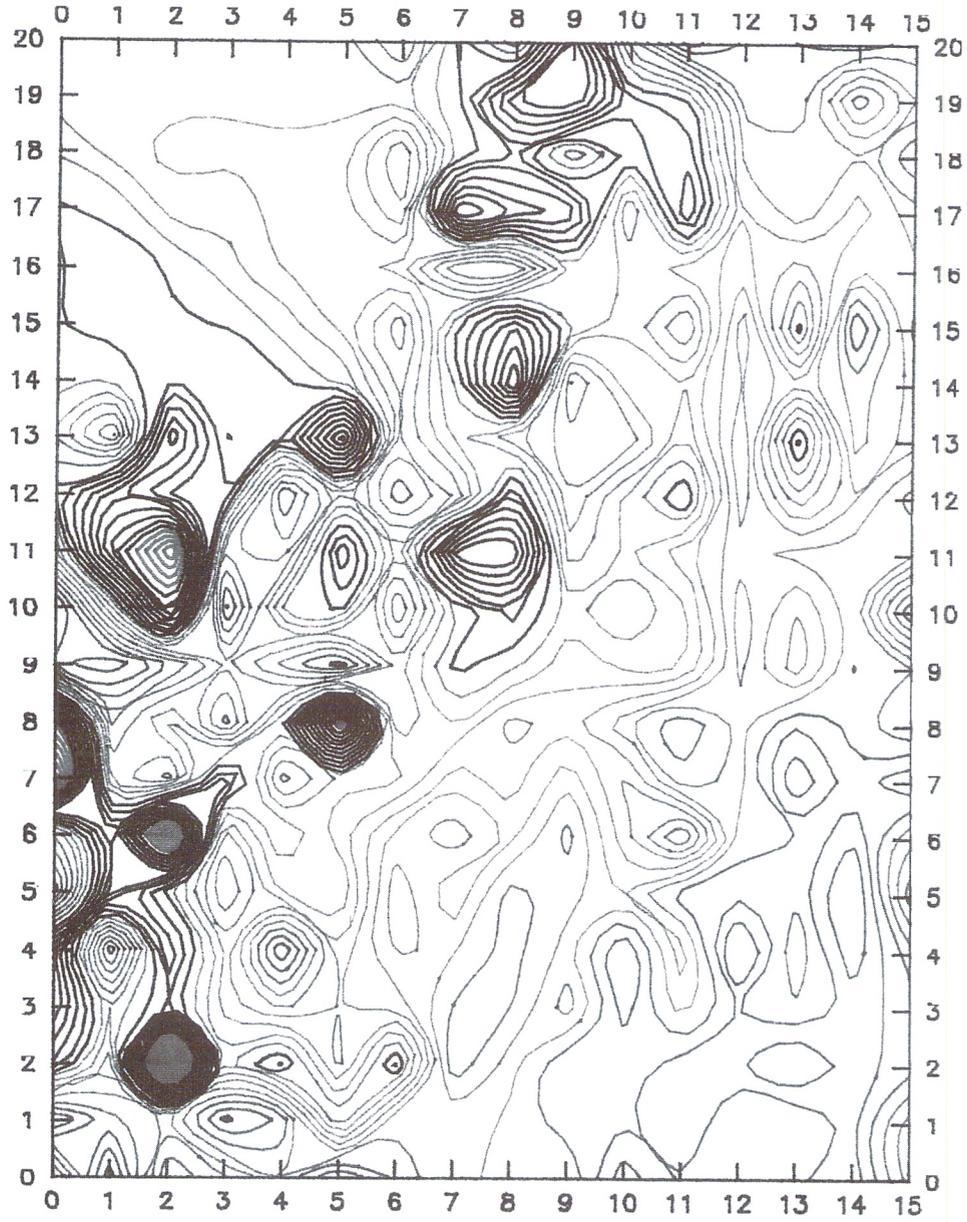


Lámina 4.

PLAZA HOSPITAL CUADRICULA 2

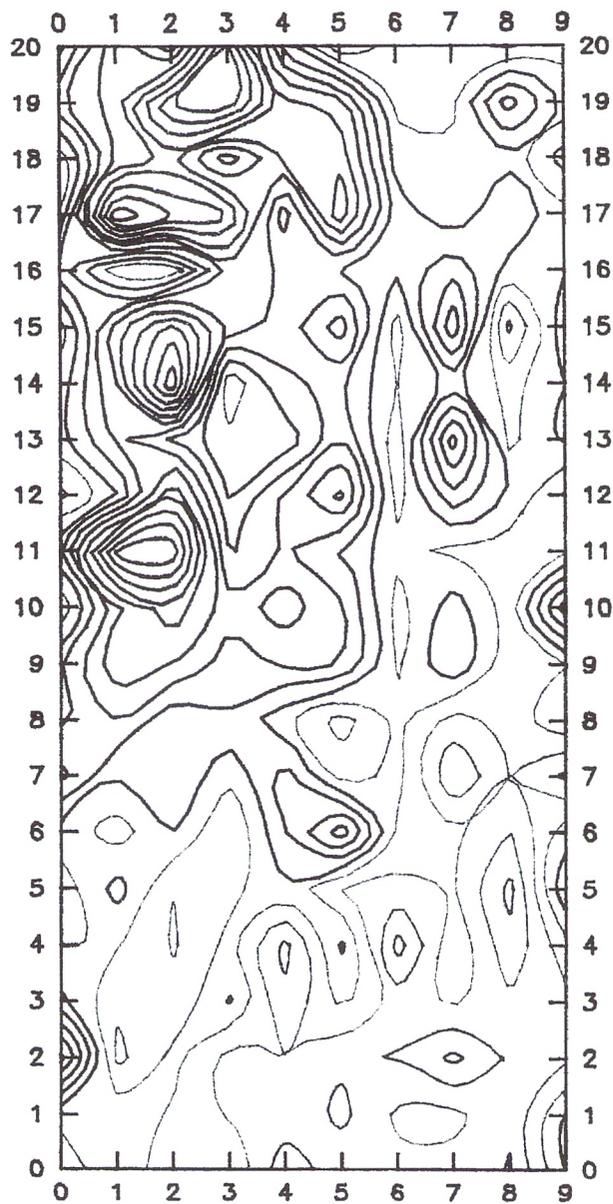


Lámina 5.

PLAZA HOSPITAL CUADRICULA 3

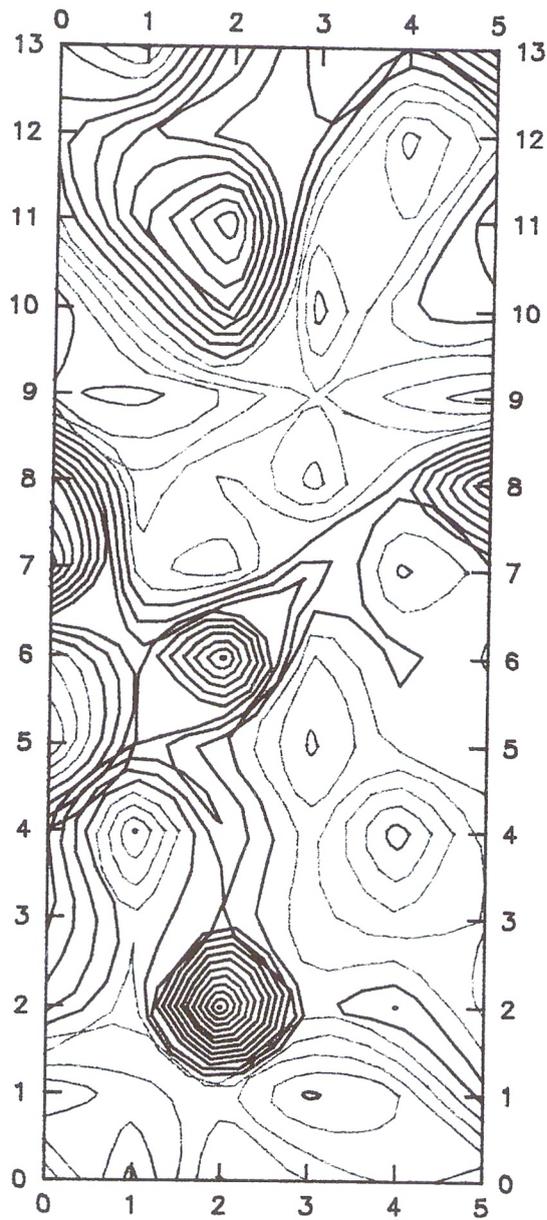


Lámina 6.