

10

**Técnicas topográficas aplicadas en la
documentación gráfica
del Patrimonio Arqueológico:
aplicaciones en Pinilla del Valle**

Héctor Hostalet Valero



Ilustración: Margarita Lliso del Hoyo.

Héctor Hostalet Valero

Colaborador del Museo Arqueológico Regional de Madrid

1. Introducción

En el siguiente apartado estudiaremos conceptos básicos de la topografía que todo profesional de la Arqueología y Paleoantropología debe conocer; sus técnicas, posibilidades y alcances de los métodos que nos permitirán posicionar, dimensionar, analizar y representar gráficamente las formas del terreno, estructuras y otros elementos.

Por tanto, la Topografía podremos definirla como el conjunto de técnicas y métodos que tienen por objeto captar y representar gráficamente la información tridimensional del terreno, la forma y dimensiones de los accidentes naturales y artificiales sobre un plano o mapa y también, la reinterpretación y materialización sobre el terreno de una obra de ingeniería proyectada sobre un plano o mapa. En ambos casos nos serviremos de un posicionamiento relativo en coordenadas, tratadas habitualmente en dos dimensiones:

Planimétrica x , y Altimétrica z

2. Cartografía y topografía

La Cartografía se define como el conjunto de operaciones y procesos que intervienen en la creación, edición y análisis de mapas. Tiene como objetivo

básico la producción de mapas y el aprendizaje de su manejo. Es cierto que al igual que otras ciencias y técnicas, en el transcurso de la última década y con la incorporación de tecnologías más avanzadas, ha pasado a ser un elemento fundamental en la sociedad de la información. La Cartografía ha adquirido un sentido transversal en el tejido cultural, socioeconómico y de gestión del territorio. Los últimos avances tecnológicos al estudio de la Tierra han cambiado drásticamente las formas de hacer mapas, y generalizado la Cartografía en todos los campos; todo debe ser georreferenciado, entendiendo por georreferenciación la localización exacta sobre el plano y a su vez sobre el territorio. La Cartografía, camina de la mano de tecnologías como el GPS, los satélites, sistemas de información geográfica SIG (GIS en terminología anglosajona) o Teledetección.

Si la Tierra es redonda y la queremos representar en una superficie plana, esto nos obliga a recurrir a otras ciencias como la Geodesia y la Cartografía Matemática. La Geodesia es la ciencia que estudia la figura de la Tierra y el campo gravitatorio. Estudia la forma y dimensiones de la Tierra. Sabemos que la Tierra es casi redonda, pero no tiene una figura geométrica clara. Después de muchos estudios, se admite que dicha figura es el geoide, pero este no tiene una expresión matemática clara y por ello la figura más aproximada a éste es la definida por una elipse de revolución, es decir un elipsoide.

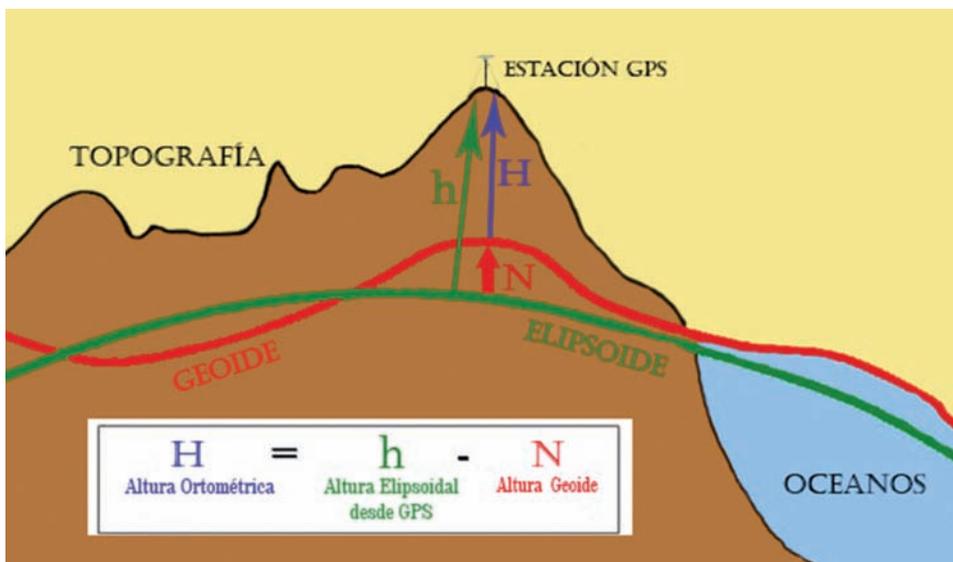


Fig. 1. Esquema relación Elipsoide, Geoide. (fórmula de Bruns: $H=h-N$).

Por otro lado, la Cartografía Matemática nos permitirá pasar las coordenadas de un punto del geoide o del elipsoide a su representación en un plano, evitando o disminuyendo los errores de transformación de una figura no plana (geoide y elipsoide) a una figura plana (mapa y Cartografía).

Se entiende por Topografía al conjunto de métodos e instrumentos necesarios para representar el terreno con sus detalles y en los que la esfericidad de la Tierra no es preocupante al considerar que se está trabajando en zonas relativamente pequeñas.

Si la zona ya es de mayor envergadura, habrá que considerar la esfericidad de la Tierra y por lo tanto, se aplicarán métodos geodésicos. Así, la Geodesia y la Topografía tienen objetivos comunes, la determinación de la forma y dimensiones de la superficie terrestre y la posibilidad de representación de la misma en un plano. La diferencia es que, mientras que la Geodesia trabaja en un contexto territorial amplio, la Topografía actúa en un marco territorial reducido en el cual puede despreciarse la falta de planicidad terrestre, con ciertas limitaciones. La Geodesia empieza allí donde termina la Topografía, pero no pueden separarse ya que la Topografía necesita apoyarse en la Geodesia.

En Topografía a los métodos y técnicas que se utilizan para adquirir datos de puntos y poder representar sus coordenadas X e Y se les denomina levantamientos planimétricos. Llamamos levantamiento altimétrico al proceso y representación de la tercera coordenada o coordenada Z. Si se realiza a la vez planimetría y altimetría, estaremos hablando de levantamientos taquimétricos o topográficos.

El levantamiento topográfico consistirá en trasladar al plano, con su cota, puntos determinados del terreno, partiendo, en planimetría, de una recta medida y orientada que se denomina la base, y en altimetría, tomando como origen un punto cuya altitud sobre el nivel del mar sea conocida, o al que se le asigne una cota arbitraria, arrastrando ésta a los demás puntos previo cálculo de los desniveles parciales de uno a otro. Las determinaciones, tanto altimétricas como planimétricas, han de apoyarse, por tanto, unas en otras, acumulándose los errores cometidos.

La planimetría y la altimetría o la taquimetría en su caso, se realiza también en dos etapas. En la primera, se toman sobre el terreno los datos necesarios, constituyendo los trabajos de campo. En ellos se sitúan los instrumentos en los puntos elegidos, lo que se denomina hacer estación, y se anotan las observaciones en impresos especiales llamados registros o libretas y a su vez,

serán almacenados en el colector de datos del instrumento. En la segunda etapa, o trabajo de gabinete, se calculan los datos topográficos obtenidos previamente sobre el terreno y se efectúan todas las operaciones precisas hasta dejar dibujado el plano. Los trabajos de campo y gabinete son operaciones tan diferentes que es recomendable, en ciertos casos, que las realice personal diferente especializado en cada uno de ellos.

3. Breve definición de algunas expresiones y conceptos básicos en Topografía

Distancia natural: es la longitud de la línea más corta que une dos puntos sobre el terreno, con sus irregularidades.

Distancia geométrica: es la longitud del segmento de recta espacial que une a dos puntos.

Distancia reducida: es la longitud del segmento de recta que une sus proyecciones acotadas sobre el plano de proyección.

Desnivel: es la diferencia de cotas entre los puntos.

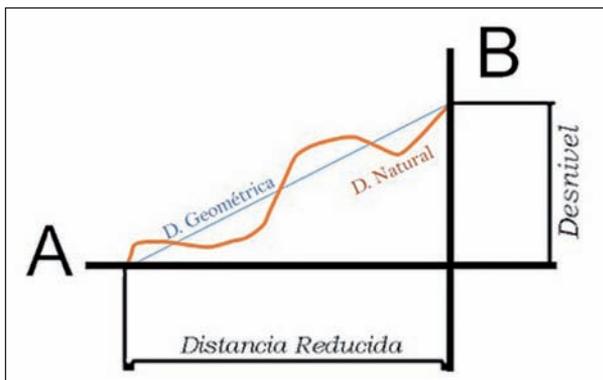


Fig. 2. Distancia natural, geométrica y reducida.

Azimut: Ángulo que forma una línea con la dirección Norte-Sur, medida de 0° a 360° en el sistema sexagesimal y entre 0 y 400 en sistema centesimal en el sentido de las manecillas del reloj.

Coordenadas: Cada una de las magnitudes que determinan la posición de un punto en un sistema de referencia. El sistema adoptado es un sistema de coordenadas cartesianas o polares, en el plano o en el espacio. En el plano las coordenadas cartesianas serán X e Y, de acuerdo a un sistema cartesiano. En el sistema de coordenadas po-

lares adoptaremos como medidas de un punto la distancia y el azimut o ángulo. Las coordenadas X e Y representan la planimetría. La coordenada Z representa la altimetría.

Coordenadas Geográficas: La designación coordenadas geográficas corresponde a la forma en que están expresadas: latitud y longitud. Por su origen pueden ser astronómicas, esféricas y también geodésicas. Las coordenadas geodésicas son, específicamente, las resultantes de una operación geodésica: triangulación, poligonación y actualmente GNSS y están referidas a un elipsoide. Por esta razón también se las denomina elipsóidicas.

Datum: Se denomina *datum* geodésico al conjunto mínimo de parámetros que permiten definir de forma única la situación y orientación de un sistema de coordenadas para fines geodésicos. Es un modelo matemático diseñado para que ajuste lo mejor posible parte del geoido o todo él. Se define por un elipsoide de dimensiones y orientación definidas y se relaciona con un punto de la superficie topográfica para establecer el origen del *datum*. Esta relación se puede definir por seis cantidades: la latitud y longitud geodésica y la altura del origen, los dos componentes de la deflexión de la vertical en el origen y el azimut geodésico de una línea de dicho origen a cualquier punto. Por su aplicación puede ser regional, nacional, continental o global.

Sistema Referencia geodésico: el sistema de Referencia Oficial para la Cartografía de España, el ED 50 (obsoleto por Real Decreto 1071/2007, desde 1 Enero de 2015) y ETRS 89 (sistema europeo), está materializado sobre la superficie terrestre por la Red Geodésica Nacional. Está constituido por un mallado de vértices geodésicos que facilitan la toma de datos topográficos y geodésicos.

Geoido: Superficie equipotencial del campo gravitatorio terrestre (perpendicular a la dirección de la gravedad en todos sus puntos) que coincide con el nivel medio del mar (NMM) sin perturbaciones y que se extiende de manera continua por debajo de los continentes. Es una aproximación a la forma real de la Tierra, la cual es difícil de describir matemáticamente debido a las irregularidades de las superficies locales y las variaciones en el lecho marino.

Elipsoide: Superficie matemática cuyas secciones planas son elipses, la cual es usada para representar la Tierra. En Geodesia se aplica el

“elipsoide de revolución”, figura tridimensional generada por una elipse que rota alrededor de su eje menor. Se define por dos cantidades, semieje mayor y aplastamiento: a y $f = (a - b) / a$.

Proyección: la cartografía estudia los sistemas de proyección para establecer una correspondencia matemática entre los puntos del elipsoide y sus transformados en un plano. Al conjunto de métodos se le llaman proyecciones cartográficas. Existen diversos tipos de proyecciones, y una de ellas es la proyección cilíndrica. Dentro de este tipo tenemos la proyección transversa de Mercator. Esta proyección constituye la base de la Proyección UTM (Universal Transversa de Mercator).

En la proyección UTM, la Tierra está dividida en 60 partes o Husos, es decir en 60 partes iguales de 6 grados cada una, que se empiezan a contar y dividir a partir del meridiano cero o de Greenwich. En ella los valores de coordenadas Y están tomados considerando el cero en el eje del Ecuador, y el valor de las coordenadas X, se toman a partir de la meridiana central de cada huso.

Escala: es la razón de semejanza que existe entre las medidas de un dibujo y las medidas reales del objeto. Es el valor de un cociente y se expresa en forma de unidad fraccionaria. Tipos: tamaño natural, ampliación y reducción // Clases: numérica y gráfica. Escala = Dimensión en plano / dimensión en la realidad.

Unidades: las unidades de medida utilizadas en topografía son, Unidades lineales: (Kilómetro, Hectómetro, Decámetro, Metro, Decímetro, Centímetro, Milímetro). Unidades superficiales: el metro cuadrado o centiárea (Hectárea, Área, Centiárea) Unidades angulares:

- Sistema Sexagesimal, considera la circunferencia dividida en 360 grados, distribuidos en cuatro cuadrantes de 90 grados; cada grado comprende 60 minutos y cada minuto 60 segundos. Un arco quedará medido por el número de grados, minutos y segundos.
- Sistema Sexadecimal. Este sistema deriva del sistema sexagesimal, siendo su única diferencia que los minutos y segundos se expresan como décimas de grados.
- Sistema Centesimal, considera la circunferencia dividida en 400 grados distribuidos en cuatro cuadrantes de 100 grados; cada grado comprende 100 minutos y cada minuto 100 segundos.

Es el sistema más utilizado en topografía, ya que los cálculos son más simples. Los grados, minutos y segundos centesimales se expresan del siguiente modo: ejemplo: 328g 67m 42 s, 3 ó 328g 67c 42cc 3 ó 328g 67^42^` 3 ó 328g, 6742.

- Sistema Lineal y Milsesimal o Sistema Analítico, en este sistema la unidad de medida es el radián, el cual se define como el ángulo al centro que forma un arco cuya longitud es igual al radio.

4. Métodos y técnicas topográficas

Se entiende por métodos topográficos al conjunto de prácticas, operaciones y procesos que a partir de datos tomados en campo y desde el terreno, permiten obtener las coordenadas de un punto o conjunto de puntos.

- Métodos planimétricos (determinación de X, Y). Estos a su vez se clasifican en:
 - Triangulación de la red topográfica.
 - Radiación.
 - Poligonal o itinerario.
 - Intersección directa y trisección inversa.
- Métodos Altimétricos (determinación de la coordenada Z)
 - Nivelación geométrica o por alturas.
 - Nivelación trigonométrica o por pendientes.
 - Nivelación barométrica.
- GPS es un sistema que hace uso de un conjunto de Satélites ubicados en el espacio agrupados en forma de constelaciones. El sistema GPS funciona mediante unas señales de satélite codificadas que pueden ser procesadas en un receptor GPS permitiéndole calcular su posición, velocidad y tiempo. El principio básico fundamental en el funcionamiento del sistema GPS consiste en utilizar los satélites de la constelación situados en distintas órbitas en el espacio como puntos de referencia precisa para determinar nuestra posición en la superficie de la Tierra.

Las siglas GNSS (*Global Navigation Satellite System*) son un sistema de posicionamiento basado en las constelaciones de satélites NAVSTAR-GPS (constelación americana), GLONASS (constelación rusa). Existen otras como la GALILEO (constelación europea) y la COMPASS (constelación china). Cada una de estas constelaciones consta de un determinado número de satélites (ejem: 24 GPS, 24 Glonass) que dan la vuelta a la Tierra cada 12 horas.

- Fotogrametría. La fotogrametría, es la ciencia que permite realizar mediciones e interpretaciones confiables por medio de las fotografías, para de esa manera obtener características métricas y geométricas (dimensión, forma y posición) del objeto fotografiado.

Aérea.- Es aquella que utiliza fotografías realizadas desde una cámara aerotransportada. Este hecho implica que su eje óptico casi siempre es vertical, y que su posición en el espacio no está determinada. Actualmente cobra importancia la fotografía aérea de pequeño formato, debido a sus ventajas de accesibilidad económica. Otra modalidad que gana importancia la constituye la fotogrametría espacial, que utiliza imágenes estereoscópicas tomadas desde satélites de observación de la tierra.

Terrestre.- La Fotogrametría digital terrestre es la técnica que permite restituir (reconstruir) la geometría y dimensiones de un objeto a través de un conjunto de fotografías tomadas del mismo, además de su previo levantamiento métrico-descriptivo mediante técnicas topográficas.

Fotogrametría de objeto cercano.- En forma general, agrupa aquellas aplicaciones que no tienen carácter geodésico o topográfico. Se aplica para resolver problemas singulares, muy específicos. Por ello se puede decir que son soluciones a la medida del problema a resolver. Esta división es la que abarca la mayor amplitud de técnicas para la toma de fotografías y su posterior restitución.

- LIDAR Light Detection And Ranging. Se trata de un potente sistema de recolección de datos que provee información 3D de un determinado ámbito de estudio. Dispone de un sensor que utiliza un láser que contiene un transmisor y un receptor. Permite medir la distancia entre un sensor y un objeto mediante el empleo de ondas electromagnéticas.

LIDAR produce *datasets* de nube de puntos masivos que se pueden administrar, visualizar, analizar y compartir. Los tipos de técnica para capturar los datos LIDAR son: LIDAR aéreo, LIDAR aéreo de baja altitud, LIDAR móvil LIDAR terrestre. El principal proveedor de datos LIDAR en nuestro país es el IGN (Instituto Geográfico Nacional).

5. Instrumentos topográficos

Estación Total o Teodolito para la planimetría y altimetría

En un levantamiento topográfico hay que tener en cuenta la precisión que nos exige el trabajo, y, en base a ésta, plantearemos la instrumentación a utilizar y la metodología. Los instrumentos que frecuentemente se utilizan en topografía son los teodolitos o taquímetros, que son aparatos que miden ángulos y distancias entre puntos, o bien desniveles. Si el aparato mide electrónicamente las distancias (por infrarrojos o láser) y los ángulos de forma electrónica, se le llama Estación Total. Estas permiten almacenar los datos en un colector de datos y poder volcarlos a un ordenador para procesarlos obteniendo el mapa o plano.



Fig. 3. Estaciones Totales Leica VivaTS15 y Trimble VX

Nivel para la altimetría

En cuanto al nivel los hay de diferentes tipos, tanto los ópticos como los láser, ambos utilizados en topografía. Su característica principal es que su visual es paralela a la línea del horizonte, algunos cuentan con graduación en un círculo horizontal para tomar referencias. Si la nivelación es muy exigente, es decir, exige precisión (del orden del milímetro) lo mejor es trabajar con un nivel.



Fig. 4. Nivel óptico Sokkia B20 y Nivel digital Geomax zdl700

Receptor GPS Topográfico para la geodesia

Se conoce como receptor GPS al instrumento que recibe y decodifica la señal del satélite calculando las coordenadas del punto deseado y muestra resultados con precisión milimétrica tanto en coordenadas topográficas o geográficas en tiempo real. Es un equipo constituido por una antena para capturar las señales emitidas por los satélites, canal de radio frecuencia, microprocesador para el almacenamiento y procesamiento de datos, fuente de energía eléctrica y una interface del usuario constituida por la pantalla, teclado y por un dispositivo de almacenamiento de datos.



Fig. 5. GPS modelos GPS Leica 1200 y TOPCON GR-3

Laser Scan//Tecnología LIDAR para trabajos documentación topográfica exigente

Es un escáner 3D de alta velocidad para la medición y documentación detallada. Utiliza tecnología láser para generar imágenes tridimensionales de geometrías y entornos complejos en tan solo unos minutos con un gran nivel de detalle. Generalmente, cuentan con una pantalla táctil para controlar las funciones y los parámetros de escaneado. La imagen resultante es una combinación de millones de puntos de medición 3D en color, que proporciona una reproducción digital exacta de las condiciones existentes.



Figura 6: Laser Scan modelos ReiglMS-Z620 y Faro Focus 3D.

6. La Estación Total

En la actualidad, las modernas Estaciones Totales electrónicas permiten la medición de puntos de cualquier objeto sin necesidad del empleo del prisma reflector, elemento imprescindible en la medida de puntos del terreno. Esto permite la medida de puntos inaccesibles mediante el distanciómetro láser que incorpora la máquina. Por tanto, resultan muy útiles para el levantamiento directo de multitud de puntos de estructuras, secciones, plantas y alzados de edificios, etc..., con una gran rapidez. La estación total funciona a partir de tres elementos:

- 1 Teodolito: para medir ángulos entre dos puntos, o medir azimuts.
- 1 Distanciómetro: para medir distancias (valga la redundancia).
- 1 Memoria interna: para almacenar la información obtenida en tu levantamiento topográfico.

Los teodolitos son los precursores de las actuales estaciones totales. Cuentan con un círculo graduado tanto para lecturas horizontales y verticales y pueden realizar medidas taquimétricas mediante los hilos de colimación o estadia. La estación total es prácticamente un teodolito computarizado ya que con ella se adquieren datos con precisión, calcula la orientación, la distancia, las coordenadas de puntos, etc. inclusive pueden cargar planos en distinto formato y ver en tiempo real las mediciones obtenidas. Con una Estación Total se podrá determinar: la distancia horizontal o reducida, la distancia geométrica, el desnivel, los ángulos horizontales y verticales, así como las coordenadas X, Y, Z.

Una estación total posee básicamente 3 componentes:

El componente mecánico

El limbo, los ejes y tornillos, el nivel, la base nivelante.

Su estructura se divide en tres bloques fundamentales:

Bloque a: Está constituido por la alidada que es la componente móvil de la estación y puede girar en torno a un eje vertical (principal).

Bloque b: Aquí está alojado el limbo horizontal. Puede moverse solidariamente a la alidada o quedar fijo con respecto a ella.

Bloque c: Es la base nivelante. Sirve para nivelar la estación y unirla a un trípode. Va a quedar siempre fija respecto de los movimientos de la alidada.

El componente óptico

El anteojo de la Estación Total está basado en el principio del anteojo astronómico. Su función es la de poder hacer punterías a objetos o referencias para definir direcciones con precisión. Sus principales componentes son:

Objetivo: Lo forman dos o más lentes, con la finalidad de formar una imagen real e invertida del objeto.

Ocular: Son dos lentes que tienen como función principal la amplificación de las imágenes. También llevan acoplados unos prismas que invierten de nuevo la imagen para ser vista en posición normal. Otra función es la de enfocar el retículo.

Retículo: Es una especie de diafragma situado en el tubo ocular donde está grabada la cruz filar. Esta cruz es la que permite hacer punterías con precisión.

Montura. Lo forman tres tubos, donde van montados el ocular y el objetivo, y que además llevan un engranaje que permite alargar o acortar el anteojo para enfocar correctamente.

La plomada es un dispositivo que va incorporado en la base nivelante de la estación. Nos permite situar o estacionar el aparato exactamente sobre el punto deseado. La plomada está materializada por un rayo óptico que tiene la dirección de la línea de la plomada, o vertical, de manera que a través de un pequeño anteojo podemos ver el punto de estación y centrar el instrumento. Esta línea también puede materializarse mediante un rayo láser (plomada láser), que tiene la ventaja de permitir el centrado a simple vista, sin lentes o prismas de por medio, aunque también sin aumentos.

El componente electrónico

- a. Lectura electrónica de limbos.
- b. Medida electrónica de distancias.
- c. Almacenamiento interno de medidas de campo y cálculos en tiempo real, medida electrónica de distancias y lectura electro-óptica, microprocesador e interfaz que permita al usuario manejar, controlar y gestionar adecuadamente todas las funciones de la Estación Total.

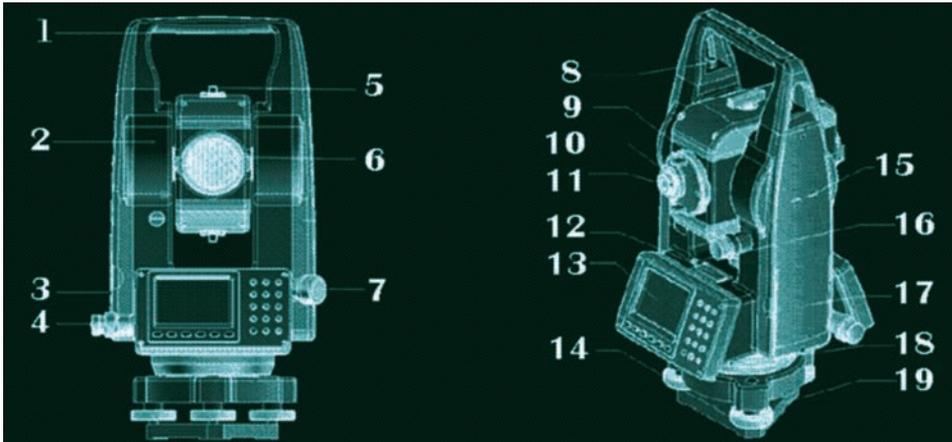


Fig. 7. Esquema de algunos componentes de la Estación Total.

- 1.- Asa o manilla de transporte extraíble.
- 2.- Armazón del anteojo.
- 3.- Pestaña apertura batería.
- 4.- Tornillo tangencial de ajuste eje horizontal.
- 5.- Colimador o mira de puntería.
- 6.- Lente Objetivo.
- 7.- Ajuste plomada óptica. En estaciones más modernas, la plomada es láser.
- 8.- Tornillos ajuste de asa.
- 9.- Ajuste de la perilla de enfoque del telescopio.
- 10.- Ajuste de enfoque ocular.
- 11.- Anteojos o Telescopio.
- 12.- Nivel circular o tubular.
- 13.- Teclado alfanumérico y pantalla LCD.
- 14.- Tornillos de precisión de la base nivelante.
- 15.- Marca de centro del instrumento.
- 16.- Tornillo tangencial de ajuste eje vertical.
- 17.- Hueco de la batería.
- 18.- Puerto de datos y conector a batería externa.
- 19.- Base nivelante.

7. Método de radiación (método más utilizado en topografía arqueológica)

Este sencillo procedimiento consiste en estacionar el aparato en un punto de coordenadas conocidas, y se orienta con respecto a otro también conocido. El prisma o reflector se coloca en el punto que queremos determinar. Seguidamente hacemos puntería sobre el prisma, enfocando según la distancia, y pulsamos la tecla correspondiente para iniciar la medición. La estación lanzará una señal que será reflejada por el prisma y devuelta a la fuente emisora, registrándose el tiempo transcurrido, a partir del cual se determinará la distancia. El software incorporado en la estación se ocupará de realizar los cálculos, presentando en la pantalla los datos que se necesiten. Los resultados obtenidos no será necesario que los incorporemos a una libreta de campo con su correspondiente estadillo, pues el instrumento posee una libreta electrónica o colector de datos que va almacenándolos para la posterior descarga a un ordenador y la realización de los trabajos de gabinete (compensación de errores, dibujo del mapa, etc).

La secuencia de toma de datos sería:

1º) Estacionar el aparato

- Definir el plano horizontal utilizando los niveles del instrumento.
- El eje vertical debe pasar por el punto del terreno sobre el que se quiere estacionar, utilizando la plomada láser.
- Configurar el trabajo e introducir las coordenadas del punto de estación.

2º) Orientar el instrumento:

- Visar a un punto de coordenadas conocidas.
- Introducir las coordenadas del punto observado.
- Orientar mediante la función correspondiente.

3º) Cálculo de coordenadas del itinerario o radiación

- Colocar el reflector en el punto del cual queremos calcular sus coordenadas.
- Hacer puntería con el antejo sobre el reflector.
- Realizar la medición (medición de distancias y ángulos).

Para cambiar de estación, situaremos el aparato donde estaba el reflector (que ya son coordenadas conocidas) y para enlazar se coloca el reflector en la estación anterior (coordenadas conocidas) y se repite el proceso de los puntos 1, 2 y 3.

8. Trabajos topográficos y fotogramétricos en Pinilla del Valle

8.1. Introducción

La Fotogrametría Digital Terrestre aplicada a la arqueología es la técnica topográfica que permite restituir la geometría y dimensiones de una zona arqueológica determinada o de un objeto a través de la obtención de un conjunto de fotografías y datos métricos adquiridos de los mismos. El objeto que se expone a continuación, muestra las técnicas y métodos que fueron empleados para la realización del levantamiento topográfico y fotogramétrico de los elementos arqueológicos situados en los yacimientos de Pinilla del Valle (Madrid), así como la posterior generación de ortofotografías, planimetrías y modelos 3D.



Fig. 8. Estacionamiento Cueva Des-Cubierta Pinilla del Valle.

Las imágenes digitales contienen en sí mismas y de forma explícita los datos métricos para su explotación sin necesidad de ser extraídos mediante costosos instrumentos de medida. Esto ha permitido reducir el coste de los equipos necesarios, además de permitir a los arqueólogos valerse de estas técnicas, aportando al proceso elementos decisivos para la calidad del levantamiento, como pueden ser la adecuada interpretación del objeto y los criterios y modos adecuados de representación.

8.2. La planificación de los trabajos

En esta primera fase, se determinó el objetivo del trabajo a realizar, objeto y escala del trabajo. Seguidamente, se llevaron a cabo los análisis previos y elaboración de croquis del entorno, anotándose los posibles puntos de apoyo y control topográficos, además de estudiar la posible ubicación de la cámara fotográfica, la iluminación y otros condicionantes como obstáculos que interfirieran en la toma de las fotografías. Posteriormente se eligió el equipo necesario, la escala de la fotografía, la posición de las cámaras, la posición y tamaño de los puntos de apoyo y control, así como su ubicación más óptima.

8.3. Red GPS

Para dotar de coordenadas con precisión de varios milímetros a la red de geopuntos implantada en la excavación, se realizaron observaciones con un equipo GPS Leica 1200 del Museo Arqueológico Regional de la Comunidad de Madrid. Tras realizar las observaciones y los cálculos en postproceso, obtuvimos las coordenadas de la red con alta precisión. Estas coordenadas fueron el promedio de las calculadas, basándose en las redes ITACYL (Red de estaciones GPS de la Comunidad de Castilla y León) e IBEREF (Red de estaciones GPS de Leica en la Comunidad de Madrid).

8.4. El levantamiento topográfico

Una vez obtenidas las coordenadas de las bases, empezamos con el levantamiento mediante topografía clásica de los elementos arqueológicos utilizando una estación total con distanciómetro de pulso láser que permitió la medición sin prisma, y fue idónea para el levantamiento de estructuras donde el acceso a la mayoría de los puntos era nulo, facilitando así la obtención de la cota de los elementos más comprometidos. En este apartado se utilizaron aparatos topográficos con su ficha de calibración actualizada y con la precisión requerida por la dirección técnica.

Los trabajos se realizaron con un GPS Leica 1200, una estación total Leica modelo TCR1200+ y una cámara fotográfica digital profesional gama Canon Eos 5D. La finalidad de este levantamiento fue la de documentar en formato digital y con la mejor calidad métrica posible los restos arqueológicos.

8.5. La toma fotográfica

La técnica está basada en la obtención de imágenes del objeto a documentar (yacimiento arqueológico, objeto o edificación), capturando cada zona desde diferentes ángulos. Posteriormente se realiza un procesado de las imágenes,

haciendo una selección automática de puntos que son comunes en las distintas fotografías, para generar una correspondencia entre éstas.

Las fotografías fueron realizadas con una cámara profesional Canon EOS 5D, módulo de rectificado de lentes, ajustada a un monopode extensible y con una cámara Sony NEX5 incorporada a un dron-hexacóptero, obteniéndose fotografías aéreas de alta calidad, para más tarde poder trabajar con ellas en programas específicos de cálculo fotogramétrico y poder obtener las ortofotos. En esta fase, se realizaron todas aquellas fotografías necesarias para representar el área de estudio en su totalidad.



Fig. 9. Monopode extensible para la fotografía terrestre y hexacóptero profesional para la foto aérea.

Procedimiento:

- Obtención de las fotos cenitales y de orientación del elemento a estudiar.
- Detección de las aberraciones que presenta el objetivo de la cámara, (rectificación de la aberración cromática).
- Procesado para eliminar la distorsión de las lentes por medio de software.
- Realización de la transformación proyectiva o rectificación, (ortorectificación de las imágenes para obtener una proyección ortogonal de las mismas y rectificación radiométrica de las imágenes procesadas).

8.6. Cálculo de datos topográficos

Los puntos obtenidos en campo se procesaron con software de análisis topográfico para poder ser transformados mediante cálculos y operaciones matemáticas. En este apartado también se realizaron las reseñas de las bases topográficas.

VÉRTICE P8

COORDENADAS Sistema ED50 y Proyección UTM huso30:

X: 432007.915 m

Y: 4530785.187 m

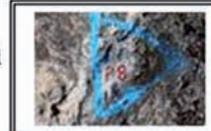
Altura Ortométrica: 1100.209 m

(coordenadas promedio de la red basándose en las redes ITACYL e IBEREF y aplicando la transformación "Trans_WGS84_a_ED50_Pinilla")

Término municipal/Provincia: Pinilla del Valle/Madrid

Tipo de señal: Clavo tipo geopunto en roca

Fecha de compensación: Enero-2012



SITUACIÓN Y ACCESO:

Desde Pinilla del Valle se toma el camino que va hacia Alameda del Valle. Pasado el helipuerto se toma el camino a la izquierda, que cruza el río y se continúa en todo momento por el camino que, rodeando el embalse, llega hasta el Calvero de la Higuera, donde se sitúan los yacimientos. Por el camino que sube a Navalmaillo, unos 10 metros antes del yacimiento, en una caliza que aflora en el camino, a la derecha del mismo está la señal.

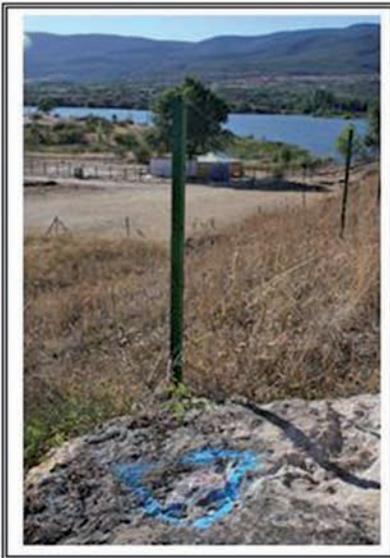


Fig. 10. Ejemplo de reseña topográfica.

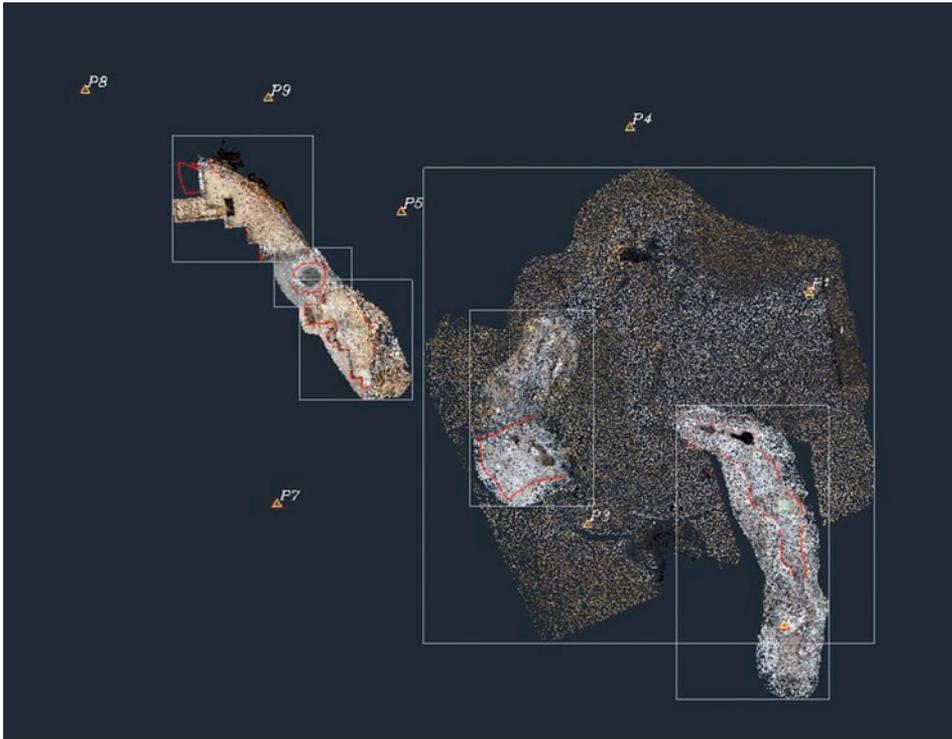


Fig. 11. Nubes de puntos obtenidas mediante técnicas fotogramétricas.

8.7. La rectificación de las imágenes

La rectificación es una técnica fotogramétrica en la cual se cambia de la proyección cónica de una fotografía a una proyección ortogonal. La ventaja de este método radica en la obtención de una escala uniforme en la imagen rectificadas y por tanto la posibilidad de medición. Todas las imágenes seleccionadas tuvieron que ser rectificadas mediante software específico.

8.8. El tratamiento digital de las Ortofotos

El siguiente proceso fué el tratamiento digital de las ortoimágenes obtenidas del proceso de rectificación, donde se igualaron los valores tonales y color de las mismas (corrección radiométrica); esta diferencia de tonalidades es debida a la variación de las condiciones meteorológicas y de iluminación en el momento de la toma de las fotografías.

8.9. La digitalización de los resultados mediante programas informáticos

Finalmente, exportamos el conjunto de ortofotos, puntos, curvas y líneas a programas de tratamiento vectorial, CAD, GIS. Ya en estos programas, se completaron los planos, se incorporó texto, cotas, tramados, etc...

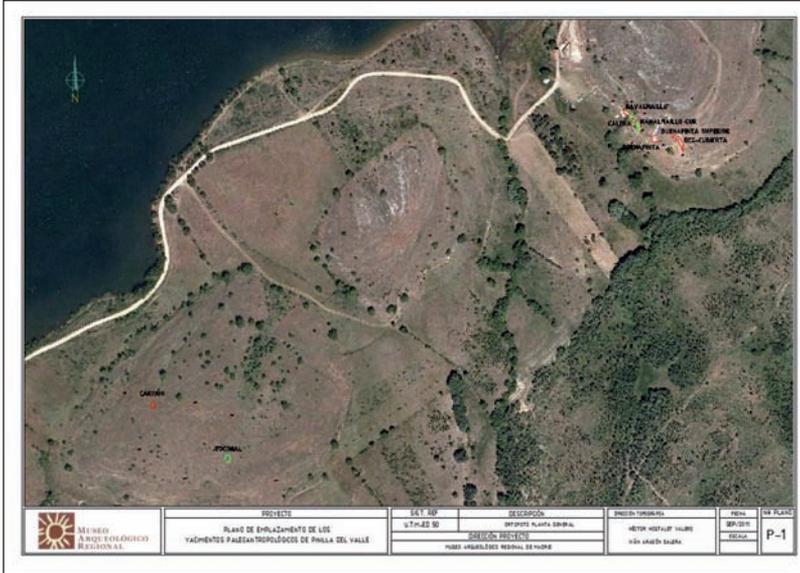


Fig. 12. Ortofoto plana de situación de los yacimientos de Pinilla del Valle.

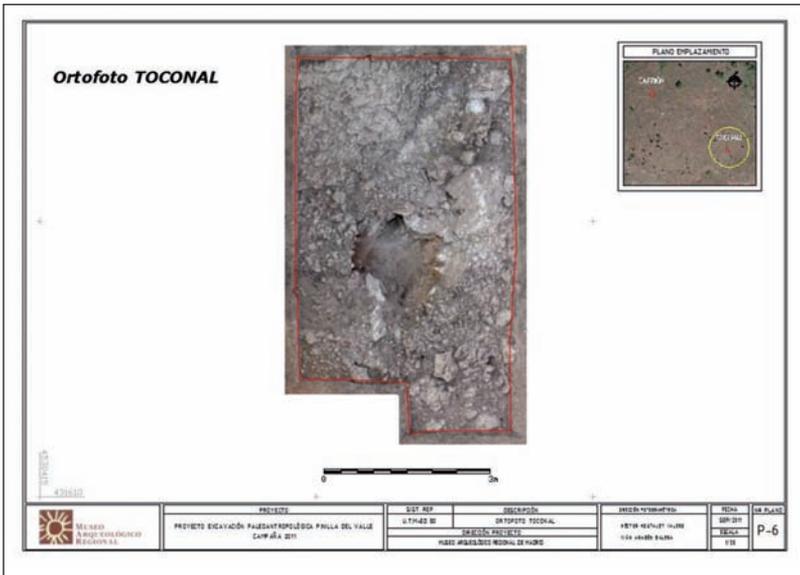


Fig. 13. Ortofoto zona Toconal. Encaje en software vectorial CAD.

9. Generación de infografías y entornos virtuales 3D

Obtención de modelos 3D e interactivos virtuales de los yacimientos mediante técnicas fotogramétricas.

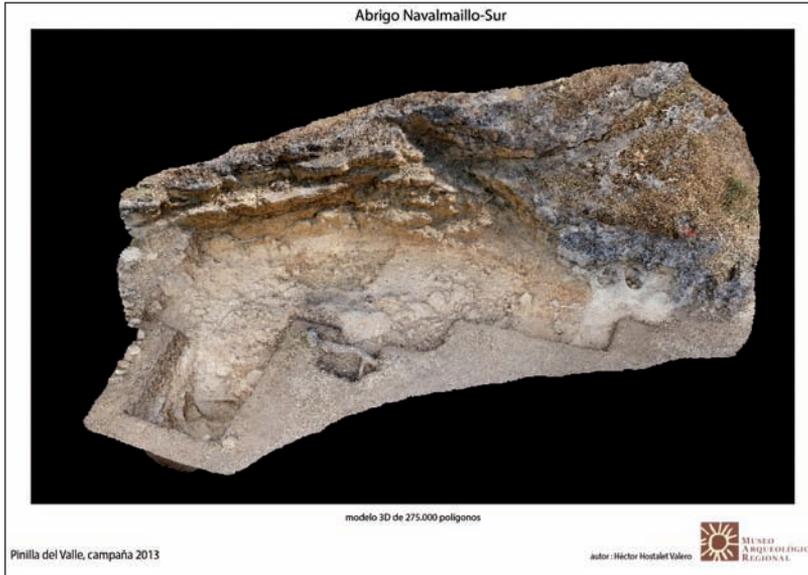


Fig. 14. 3D del Abrigo de Navalmaíllo-Sur. Pinilla del Valle.

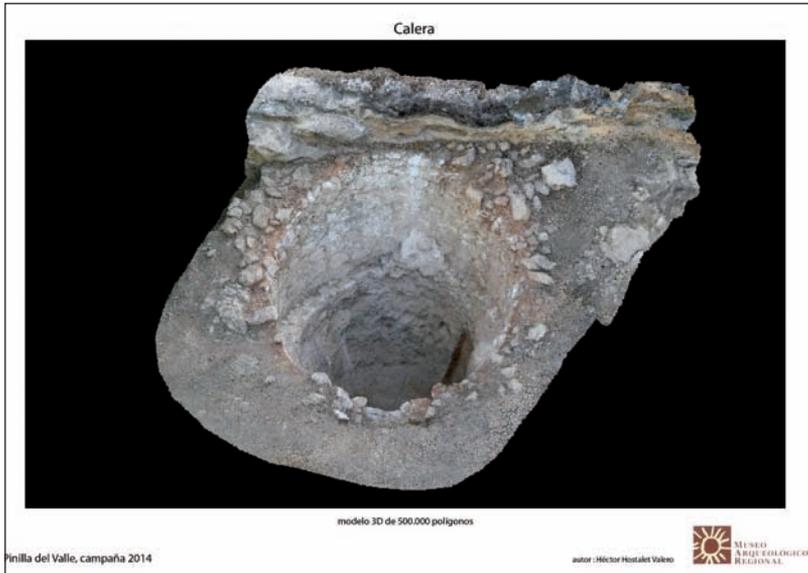


Fig. 15. 3D Horno de cal o Calera. Pinilla del Valle.

