

NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LEVANTAMIENTOS APLICADAS A LA ARQUEOLOGÍA Y LA RESTAURACIÓN: LA MURALLA ALMOHADE DE SEVILLA.

Barrera Vera, José Antonio (1); Hernández Macías, Daniel (2); Herráez Boquera, José (3)

⁽¹⁾Universidad de Sevilla, España

Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica. Departamento de Ingeniería Gráfica

Correo electrónico: barrera@us.es

⁽²⁾Universidad de Sevilla, España

Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica. Departamento de Ingeniería Gráfica

Correo electrónico: danhdez@us.es

⁽³⁾Universidad Politécnica de Valencia, España

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Departamento de Ingeniería Cartográfica Geodesia y Fotogrametría

Correo electrónico: jherraез@cgf.upv.es

RESUMEN

En las intervenciones arqueológicas la necesidad de dar cuenta de un modo científico del estado real de los yacimientos es una labor esencial. Para este cometido es necesario documentar gráficamente la geometría de los restos arqueológicos y su relación con el entorno de la manera más fidedigna posible. En los últimos años se ha dado un gran salto en la calidad y cantidad de la información geométrica que se puede obtener. Estas posibilidades en alza han estimulado la exigencia cada vez mayor de la rigurosidad en los levantamientos.

Como muestra de las posibilidades de actuación aplicando tecnologías innovadoras se presenta este trabajo consistente en el levantamiento y modelizado de la muralla y barbacana descubierta en pleno centro de la ciudad de Sevilla con motivo de las obras del nuevo tren metropolitano. La singularidad del caso radica en que se trata de unos restos que serán extraídos de su ubicación actual para ser repuestos nuevamente una vez terminadas las obras de la estación de metro que se ubicará justo en esa localización pero a una cota inferior. En la actualidad no se ha tomado la decisión política sobre la posibilidad de ser nuevamente sepultados para permitir recuperar la configuración previa de la calle donde se descubrieron, o mantenerlos expuestos con la consecuente eliminación del tráfico de vehículos en la calle. De optarse por la primera opción correspondería al resultado de nuestro trabajo la responsabilidad de erigirse como referente virtual de unos restos arqueológicos inaccesibles.

Con ocasión del trabajo se tendrá oportunidad de contrastar los resultados de la aplicación de técnicas de levantamiento mediante estación total láser, fotogrametría digital no métrica y escaneado láser tridimensional.

Palabras clave: Arqueología y patrimonio, Fotogrametría, Escaneado 3D, modelado sólido, Realidad virtual, Topografía, Ingeniería Inversa, HDS.

ABSTRACT

In archaeology, the necessity of scientifically stating the real condition of deposits is an essential work. For this task it is necessary to graphically document the geometry of the archaeological rests and their relationship with the environment in as accurate a way as possible. Over the last few years, great advances have been made in the quality and amount of the geometric information that can be obtained. These new possibilities incur difficulties regarding

the required vigorous measurement and analysis of the data, however much improved results can be obtained.

As an example of the performance possibilities, applying innovating technologies, we present this work consisting on the survey and modelling of the wall and barbican, discovered in the city of Seville, during the works of the new metropolitan train. The singularity of the case is that the wall will be extracted from its present location to be replaced back again once works of the tube station that will be located just in that location but to an inferior level finishes. At present the political decision between, being buried to allow the recovering of the previous configuration of the street, where they were discovered, or to be left exposed with the consequent elimination of the traffic of vehicles in the street, has not been taken yet. If the decision taken is the first option, our work would have the responsibility of being the virtual reference of an inaccessible archaeological rest.

As a result of this work, we will have opportunity to check the results of the application of these techniques of survey by laser total station, non-metric digital photogrammetry and three-dimensional laser scanning.

Key words: Archaeology and patrimony, Photogrammetry, 3D Scanner, solid modelling, Virtual reality, Topography, Reverse engineer, HDS.

Grupo temático: Engineering projects.

1. Introducción

Tomando como objeto de estudio la muralla y barbacana descubierta en la calle S. Fernando, pleno centro de la ciudad de Sevilla, con motivo de las obras del nuevo tren metropolitano, el trabajo pretende justificar el empleo de una metodología mixta para la documentación de restos arqueológicos desde el punto de vista de su representación gráfica. La metodología planteada contempla las posibilidades de actuación aplicando tecnologías innovadoras al alcance de la técnica actual para la obtención del levantamiento y modelizado de la muralla y la barbacana. La singularidad del caso, tanto a nivel patrimonial como a nivel del tipo de intervención justifica el despliegue de la metodología empleada.

2. Descripción del objeto de estudio

2.1.- Antecedentes Históricos.

Los restos arqueológicos que nos ocupan están formados por el arranque de las construcciones defensivas de la zona sur de la Ciudad de Sevilla. En concreto, constan de una muralla jalonada con torres, foso y barbacana. El interior de la muralla formaba parte del complejo militar del Alcázar y por el exterior de la barbacana discurría el arroyo Tagarete, de ahí la fuerte erosión del paramento exterior de la misma.



La excavación a vista de pájaro

Estas construcciones defensivas forman parte de la primitiva muralla de la ciudad y datan de la primera mitad del s. XII y principios del s.XIII.

Durante el siglo XVIII se construye la Real Fábrica de Tabacos (actual sede de la Universidad de Sevilla) y es encauzado y abovedado el arroyo Tagarete. Este discurre, desde entonces, por debajo de la denominada explanada de la Fama situada en la fachada principal de la Fábrica de Tabacos, esto es, al norte de la misma.

La muralla sigue en pie hasta 1868 en que se procede a su demolición y se instala, en su lugar, una verja para delimitación de la Fábrica de Tabacos.

La configuración actual de la calle San Fernando data de 1923 cuando la verja referida anteriormente se retranquea hacia el sur y se ensancha la calle.

2.2.- Trabajos Arqueológicos.

Con anterioridad a la redacción del anteproyecto de la Línea 1 del Metro de Sevilla se tenía referencia de la existencia de restos arqueológicos en la calle San Fernando.

El día 19 de marzo de 2004 fueron autorizadas las intervenciones arqueológicas por la Dirección General de Bienes Culturales de la Junta de Andalucía. Comenzaron las mismas el día 24 de marzo y se alargan hasta el mes de agosto. En el transcurso de las mismas aparecen los restos de

la muralla, foso y barbacana de defensa de la ciudad, así como los restos de una vía romana pavimentada con grandes losas de pizarra.

Las dimensiones aproximadas de estos elementos son las siguientes: la muralla tiene una anchura de 2,40 m y una altura conservada de 2,20 m y tiene jalonadas dos torres de 4,5 x 5,5 m en planta con una separación de 50 m. La barbacana tiene una anchura de 1,35 m y una altura conservada de 2,5 m. El material de construcción empleado es tapial a base grava y cal.

Una vez terminados, en su primera fase, los trabajos arqueológicos se remiten a la Consejería de Cultura los resultados de la excavación para que dictamine sobre la conservación de los mismos.

En un principio se tenía previsto, por parte de la adjudicataria de la obra, su conservación integrándolos en la futura estación a distinta cota de la original. El dictamen de la Consejería de Cultura, obliga a conservarlos en el mismo lugar y a la misma cota donde se asientan. Para ello, es necesario desmontarlos, trasladarlos y, cuando se construya la estación, volver a colocarlos en el mismo lugar.

3. Propuesta de actuación

De acuerdo con la Carta de Cracovia 2000, donde se recogen los principios actuales para la conservación y la restauración del patrimonio construido "La conservación del patrimonio edificado es llevada a cabo según el proyecto de restauración, que incluye la estrategia para su conservación a largo plazo. Este 'proyecto de restauración' debería basarse en una gama de opciones técnicas apropiadas y organizadas en un proceso cognitivo que integre la recogida de información y el conocimiento profundo del edificio y/o del emplazamiento. Este proceso incluye el estudio estructural, análisis gráficos y de magnitudes y la identificación del significado histórico, artístico y sociocultural."

En efecto, cualquier intervención restauradora o rehabilitadora sobre patrimonio arquitectónico y arqueológico requiere un levantamiento que de fe y documento con rigurosidad su estado actual.

En este sentido la decisión sobre la tecnología a aplicar ha de cumplir con los objetivos definidos por el carácter de la documentación requerida. Dependiendo de los agentes de cada intervención el nivel de exigencia puede ser variable. No obstante, como referente de dicho nivel podríamos tener presente que los diversos grados de documentación deben ser proporcionales al interés histórico del complejo arquitectónico examinado y adecuado a la finalidad del estudio [Brogiolo 1988, 35-6].

Por consiguiente, el caso que nos ocupa, sobre la base de su interés histórico y del proceso de desmontaje y reposición que va a soportar, demanda la aplicación de todas las posibles opciones técnicas disponibles en la actualidad.

De ahí que el trabajo se haya desarrollado de manera paralela, pero al mismo tiempo imbricada, aplicando la metodología topográfica clásica, fotogrametría, y escaneado tridimensional.

4. Topografía clásica

Su empleo se justifica por una parte en la necesidad de georreferenciar todo el trabajo a partir de las bases prefijadas para la excavación arqueológica y por otra por la necesidad de ofrecer una

cobertura de puntos de control lo más densa posible para la referenciación de las tomas fotográficas.

Se ha llevado a cabo con una estación total TCR-307 de Leica dotada de medición por radiación infrarroja y láser que permite leer sin prisma reflector.

Los datos de partida del trabajo fueron facilitados por la UTE Metro de Sevilla y consistían en dos bases principales, de coordenadas conocidas, situadas a ambos extremos de la excavación y materializadas sobre el terreno con clavos.

Dado que la situación de las referidas bases no permitía visualizar los paramentos a levantar, se optó por la creación de una red de bases secundarias que permitieran tomar todos los puntos necesarios.

Al ser el entorno espacial del trabajo relativamente pequeño (150 metros de longitud) y ser las bases principales estacionables e intervisibles, la colocación de las bases secundarias se hizo por radiación. La medición de distancias se efectuó con infrarrojos sobre miniprisma con altura de 10cm para reducir al máximo el error por falta de verticalidad del mismo.

Una vez colocadas las bases secundarias y obtenidas sus coordenadas, se procedió al levantamiento de los puntos de control que permitieran la orientación de los fotogramas. Estos puntos se materializaron por medio de dianas circulares color magenta de 25 mm de diámetro, adosadas a los paramentos para definir las distintas superficies de los mismos.

Las lecturas se efectuaron con radiación láser (sin prisma) sobre el centro de las dianas. Además, se tomaron una serie de puntos formando perfiles verticales de los paramentos. El número total de puntos tomados con estación total ha sido del orden de 3.000.

5. Fotogrametría digital

El proceso fotogramétrico empleado se basa en software y cámaras digitales no métricas de modo que constituye un sistema de medición preciso y versátil que utiliza un equipamiento manejable y elimina la mayoría de las restricciones que presenta la fotogrametría tradicional. Permite utilizar cualquier tipo de cámara no métrica y carece de contacto físico directo y con mínima interferencia en el elemento y su entorno. Tampoco es necesaria la utilización de trípode para la toma de las fotografías. Estas características le convierten en un sistema adecuado para este tipo de intervenciones.

Como punto de partida se realizó una evaluación inicial del elemento y su entorno en relación a las necesidades y objetivos de documentación que se pretendía conseguir. Se obtuvo así un diagnóstico del elemento referente a los medios técnicos específicos a emplear y al tipo de documentación a realizar. A partir de esos datos se establece el tipo de cámara y las ópticas a emplear. En este caso una Sony DSC-F707, óptica Carl Zeiss, de 5 Mega píxel. La calibración de la óptica se obtuvo mediante software específico a partir de tomas de un patrón de calibrado a distancias similares a las empleadas en el trabajo de campo.

En una primera fase se efectuó el registro y documentación de datos en campo, consistente en la realización de un reportaje fotográfico exhaustivo y en el registro de puntos de control con estación total láser según se ha descrito en el apartado de topografía clásica. Todo el material fotográfico se integra en una base documental digital, junto con anotaciones y parámetros de calibración de las ópticas, referencias topográficas y condiciones específicas de iluminación.

Esta documentación fotogramétrica tiene un carácter de archivo integral a partir del cual se obtendría las representaciones gráficas necesarias para la intervención actual, pero que será de gran utilidad para el futuro, puesto que el grado de análisis puede ampliarse en determinados elementos o ámbitos que despierten especial interés en situaciones futuras permitiendo realizar

comprobaciones posteriores o generar nueva documentación sin necesidad de volver al elemento.

Posteriormente procesamos los datos recogidos para obtener por restitución fotogramétrica tridimensional los modelos digitales del elemento. Este proceso se ha realizado en un proceso íntegramente digital. La restitución tridimensional proporciona las medidas, referencias y bases que sirven de apoyo para la generación de las representaciones gráficas posteriores.

Dada la irregularidad del objeto de estudio se han desechado las posibilidades de restricciones topológicas (ejes, etc.). En general se han restituido las tomas a partir de puntos de control, por lo que se han empleado fundamentalmente tomas frontales y metodología de simple foto. No obstante, para la densificación del modelo, se ha combinado con el modo multitoma empleando tomas cruzadas buscando la máxima perpendicularidad entre ejes focales sin rebasar el valor mínimo de 15°.

Finalmente estos datos serán interpretados para su posterior representación gráfica en forma modelos digitales tridimensionales a partir de los cuales se generarán las ortofotografías y los planos de proyecto.

6. Escaneado láser de alta definición

6.1. Objeto.

Se pretende documentar la geometría de la excavación de la muralla mediante una malla de puntos que represente toda la superficie excavada con una densidad de puntos entre 1 y 5 cm. Para ello dada la superficie de la excavación (longitud, ancho y profundidad), el método más aconsejable para obtener una alta densidad de información es la utilización de un scanner de láser.

6.2. Instrumentación a utilizar.

El instrumento a utilizar es el scanner de Cyrax, cuyas características de uso son:

Angulo de observación 40 grados en horizontal y vertical.

Alcance recomendado. 50 m.

Alcance previsto 100 m.

Alcance máximo 200 m.

Precisión en la medición de distancia 6 mm.

Precisión en la medición de ángulo 40 segundos centesimales.

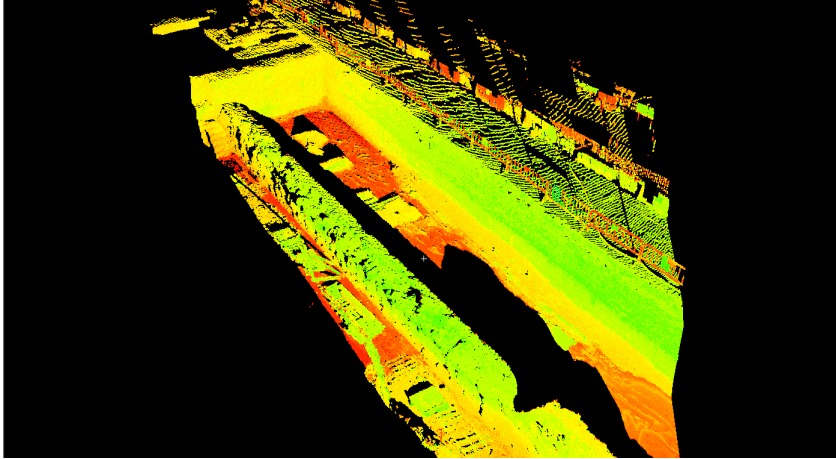
Velocidad máxima de medición 1000 puntos por segundo.

Máxima malla generada 3000 * 1000 puntos (aprox. 1 h. de medición)

Malla generada en cada modelo 1000 *1000 ptos.

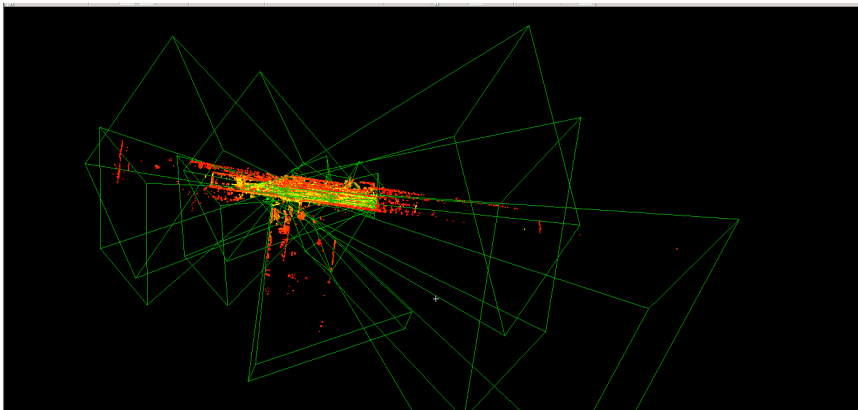
6.3. Procedimiento utilizado para la medición.

Dado que el modelo a medir esta formado por una serie de zanjas excavadas se ha propuesto la medición situándose sucesivamente en cada una de las esquinas de la zanja para así obtener la forma de las paredes que la forman, empalmando posteriormente las mediciones utilizando las áreas comunes entre las sucesivas mediciones.



Primer modelo obtenido.

Para la obtención de un modelo global se plantea a la realización de sucesivos escaneos que recubriendo cada uno parcialmente la superficie a cubrir, la suma global recubra totalmente el área incluyendo fondo y paredes. Así pues necesitamos un mínimo de entre tres y cuatro escaneos por zanja y alguno más para los solapes, previendo un recubrimiento entre escaneos entre el 10 y 20% para conseguir posteriormente el empalme de los modelos.

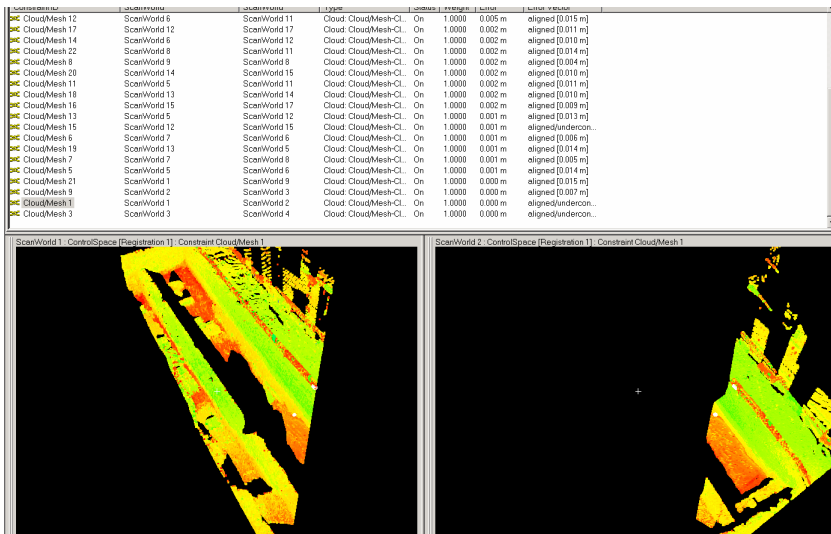


Recubrimientos de los escaneos.

Se realizó desde cada esquina de la zanja un escaneo, obteniendo una malla de 100*1000 puntos, obteniendo una densidad de puntos sobre la superficie entre 5mm y 3 cm. (para los puntos más cercanos o más alejados respectivamente). El total de escaneos realizados para cubrir toda la superficie fue de 17.

6.3. Empalme de los modelos.

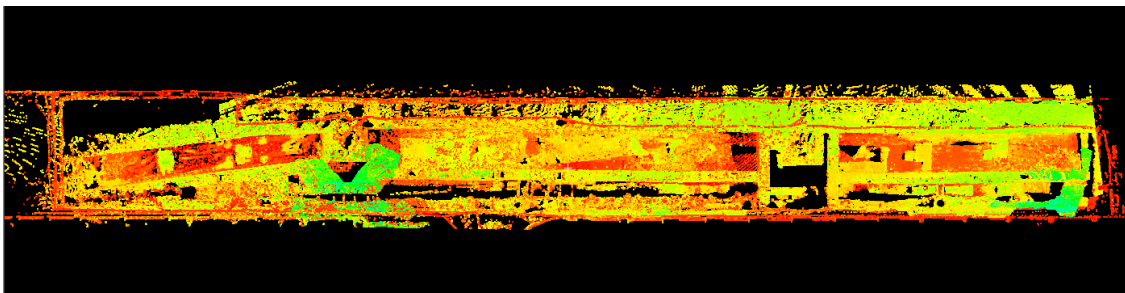
Los modelos obtenidos disponen de recubrimiento entre ellos y modelos sucesivos, por lo que el ajuste por mínimos cuadrados de las nubes de puntos entre cada dos modelos con recubrimiento (tras proponer una posición inicial del modelo) permitió el ajuste de modelos por pares. El ajuste global por mínimos cuadrados de las posiciones relativas de cada par de modelos permitió la obtención de un modelo global de toda la excavación.



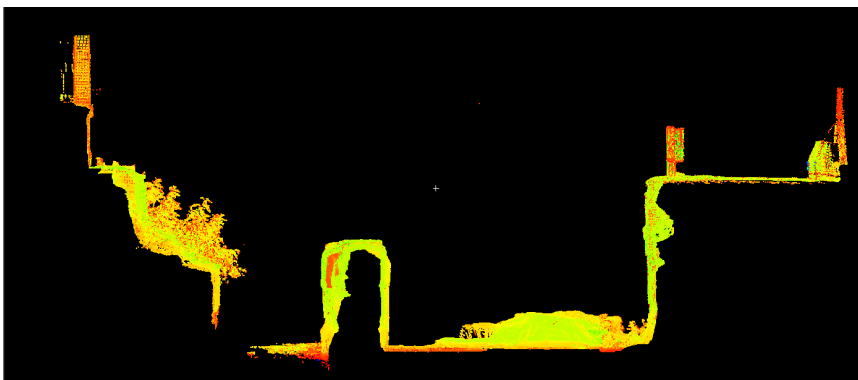
Ajuste de las nubes de puntos

6.4. Ajuste del sistema de coordenadas.

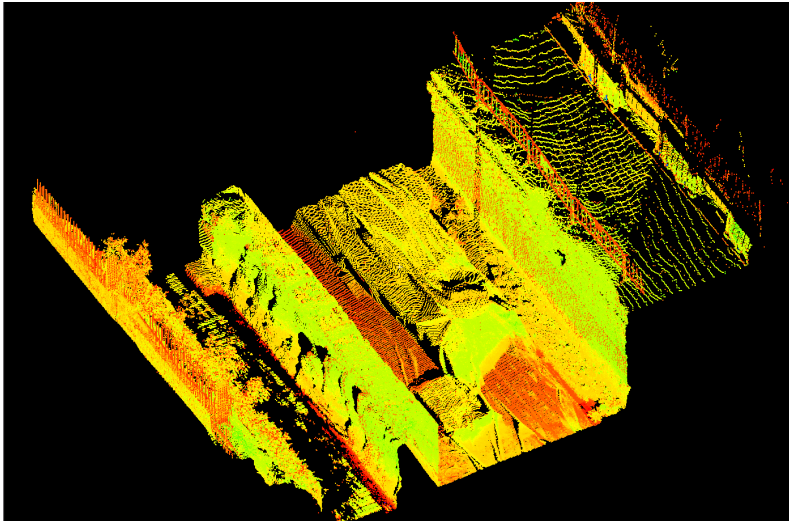
Trabajos topográficos previos al trabajo del escáner permitieron establecer un sistema de coordenadas para toda la excavación (con el eje X aproximadamente en dirección perpendicular a la excavación). Se usaron un pequeño número de puntos en este sistema de coordenadas para fijar en el modelo de puntos el sistema de coordenadas, adoptando así el general del trabajo topográfico.



Planta completa.



Sección de la excavación



Vista de un tramo de la excavación seccionado.

De este modo se puede solapar sobre el modelo obtenido cualquier trabajo topográfico anterior o posteriormente realizado, o realizar comprobaciones sobre él.

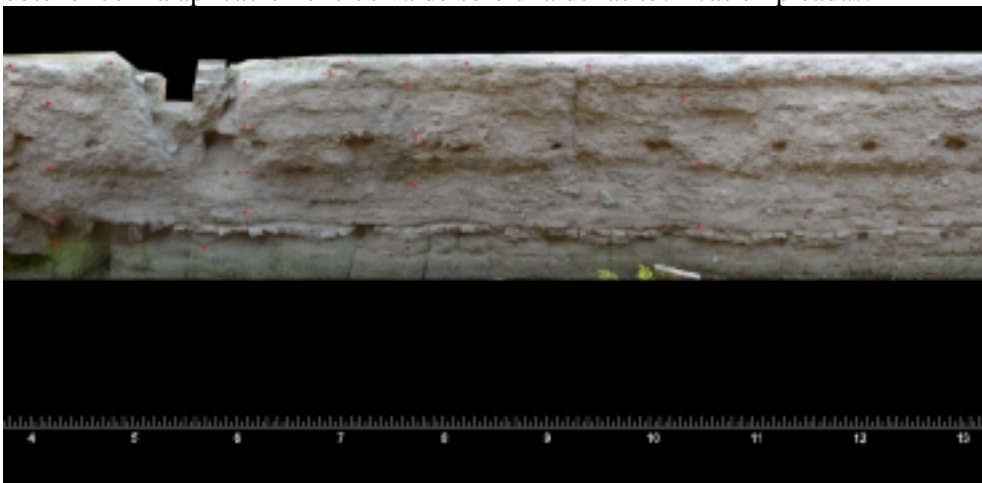
Del modelo elaborado para su explotación se obtuvieron inicialmente una planta y secciones.

7. Generación de ortoimágenes y planimetría de proyecto

A partir de los modelos digitales se han modelizado las superficies necesarias para la definición del conjunto y se han aplicado las texturas restituidas.

La obtención de perfiles transversales a partir de la nube de puntos ha facilitado enormemente la generación de superficies del modelo, mientras que para la aplicación de texturas reales y restituidas ha sido esencial la aportación de la fotogrametría. El trabajo topográfico tradicional (estación total) ha sido el vínculo vertebrador entre las dos técnicas más innovadoras empleadas.

Una vez obtenidos los modelos digitales tridimensionales ó maquetas virtuales a escala, a partir de ellos, se han generado los alzados necesarios para el trazado de planos con la precisión y el nivel de detalle requerido, desde documentación preventiva y bocetos hasta el levantamiento de planos arquitectónicos y arqueológicos de gran precisión y detalle que no se hubiesen podido obtener con la aplicación exclusiva de solo una de las técnicas empleadas.



Fragmento de un plano de alzado con la ortofoto ajustada

El resultado obtenido son planos muy ricos en detalles, con consistencia planimétrica y tridimensional de las medidas, a los que después se aplica el estilo de delineación apropiado para su presentación final.

Las ortofotografías se acompañan de escala gráfica y se presentan superpuestas sobre las planimetrías con las que se corresponden exactamente. Constituyen así una herramienta muy fiable y objetiva para el estudio y análisis del elemento.

8. Conclusiones

Lo establecido en el apartado anterior avala la necesidad de la técnica mixta empleada. Los resultados satisfacen el objetivo propuesto desde el punto de vista técnico, como documento proyectual para los trabajos de desmontaje, traslado, reposición, consolidación y posible puesta en valor. En éste último aspecto puede jugar un importante papel toda la documentación generada. Las ortofotos de alzados y detalles tienen especial valor en la publicación de medios impresos, y las maquetas virtuales gozan de un valor museístico excepcional. Las representaciones en VRML son directamente publicables en la Red para su visualización interactiva.



Visualización interactiva en Web de un fragmento de muralla

No obstante, hay que señalar que el proceso de modelado tridimensional es mucho más complejo en acabado y presentación que las planimetrías, ya que la entidad básica es la superficie en vez de la línea, generándose así grandes volúmenes de datos. Por otra parte la nube de puntos obtenida con el escáner alcanza un tamaño imposible de manejar con programas de divulgación e incluso problemático en programas especializados si no se dispone del hardware adecuado. Un modelo tridimensional con materiales a escala de detalle implica el procesado de información en cantidad equivalente al de las ortofotografías a esa escala de todas sus superficies visibles, lo que exige hardware y software muy potente para manejarlo en tiempo real, lo que limita su utilidad.

Por esa razón el grado de precisión alcanzado no siempre se corresponde con las posibilidades de divulgación reales, lo que obliga la descomposición del modelo.

Todo ello no es óbice para que insistamos en la conveniencia de aplicar todas las posibilidades que nos ofrecen las nuevas tecnologías, pues en todo caso, las restricciones en software y hardware, con el rápido desarrollo de la TI en la actualidad, se reducen a una velocidad de vértigo.

9. Referencias bibliográficas

- Barker, P. 1993. *Techniques of Archaeological Excavation*. Londres: Batsford. (3ª edición. Ed. original de 1977)
- Brogiolo, G.P. 1988. *Archeologia dell'edilizia storica*. Como: Edizioni New Press.
- Carandini, A. 1997. *Historias en la tierra. Manual de excavación arqueológica*. Barcelona: Crítica.
- Rivera Blanco, J. y Pérez Arroyo, S. *Carta de Cracovia. Versión española del Instituto Español de Arquitectura (Universidad de Valladolid)*. 2000.