

Muñoz Cosme, Gaspar; Laura Gilabert Sansalvador y Zacarías Herguido Alamar  
2015 El friso de La Blanca (Petén). Un ejemplo de utilización de la tecnología láser para la documentación arqueológica. En XXVIII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2014 (editado por B. Arroyo, L. Méndez Salinas y L. Paiz), pp. 961-970. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala.

## **El friso de La Blanca (Petén). Un ejemplo de utilización de la tecnología láser para la documentación arqueológica**

Gaspar Muñoz Cosme  
Laura Gilabert Sansalvador  
Zacarías Herguido Alamar

### **Palabras clave**

Guatemala, Petén, La Blanca, maya, escáner láser, friso, Clásico Tardío.

### **Abstract**

In December 2013 a noteworthy frieze was found at the base of Substructure 2 of the 6J2 building of the Acropolis of La Blanca. It is 4.75 m in length by 1.50 m in height, and due to its geometrical complexity, we decided to use laser scanner technology, so that we could obtain high quality information most expediently to be processed thereafter. Having obtained the data, we carried out an entirely faithful set of plans of the frieze, in order to complete the project documentation, create a 3D reproduction and perform an analytical study of it, and for its possible use by museums.

### **La Acrópolis de La Blanca**

La ciudad de la Blanca se encuentra situada en el sureste del departamento de Petén (Guatemala), en la cuenca del río Mopán y muy próxima a uno de sus afluentes, el río Salsipuedes. Desde el año 2004 el Proyecto La Blanca lleva trabajando en la excavación, investigación y puesta en valor de este sitio arqueológico maya del Clásico Tardío (Muñoz y Vidal 2005 y 2006; Vidal y Muñoz 2007).

La Acrópolis de La Blanca es el conjunto arquitectónico más notable de la ciudad y está constituido por un grupo de tres edificios que coronan una plataforma elevada unos 8 m sobre el territorio circundante (Muñoz et al. 2010:382-384). Dos de estos tres edificios conforman la plaza central de la Acrópolis, el denominado 6J2, un edificio de gran longitud con planta en forma de “C” que rodea la plaza dejando libre la parte oriental que está ocupada por el denominado Palacio de Oriente, que abre sus vanos hacia la plaza, orientados al poniente. Este edificio posee unas características arquitectónicas muy notables, siendo su estancia mayor de unas dimensiones excepcionales en el área maya, especialmente para un espacio abovedado, 4.10 m de anchura por 7.20 m de longitud (Muñoz 2007:23). Es, sin duda, el edificio principal de la ciudad y donde residía el gobernante (Fig.1).

El edificio 6J2 rodea y protege la plaza de la Acrópolis, por ello los vanos de la mayoría de sus dieciocho estancias se abren hacia el exterior, salvo las que están situadas en los ejes centrales de cada lado que tienen doble puerta enfrentada y son de paso para dar acceso por el norte, oeste y sur a la plaza central. Es un edificio de un diseño arquitectónico esmerado y de unas dimensiones, al igual que el Palacio de Oriente, también excepcionales, sus puertas de 4 m de altura, la monumentalidad de sus estancias y la tipología singular de las mismas así lo denotan (Muñoz 2006:30-35).

Las investigaciones sobre las subestructuras de la Acrópolis La Blanca se iniciaron en la campaña de 2009, documentando un túnel de saqueo existente en el extremo norte de la fachada occidental del basamento de la Acrópolis, bajo el cuarto 12 del 6J2. Posteriormente, en 2010, se amplió el túnel localizando la Subestructura 2 en la parte interior, y en la campaña de 2011 se excavó por la parte externa para poder definir bien el edificio, que había sido clausurado por los antiguos mayas para construir sobre él los edificios superiores de la Acrópolis. (Vidal y Muñoz 2010; Vidal y Muñoz 2011; Vidal y Muñoz 2012).

Al año siguiente se prosiguió la excavación exterior dejando al descubierto la fachada occidental de la Subestructura 2, situada en el lado de poniente del basamento de la Acrópolis y bajo el cuarto 11 del edificio 6J2. Pudiendo observar que, aunque conservaba la moldura media la parte superior del edificio, posiblemente una bóveda, había sido desmontada y la puerta central de grandes dimensiones había sido cegada metódicamente con sillares de gran tamaño. Se comprobó que este edificio se encontraba situado sobre un basamento en el que ya se pudo observar el inicio de una decoración geométrica de piedra estucada en el paramento occidental (Fig.2).

### **Hallazgo del friso en la Subestructura 2**

En la campaña de 2013, se prosiguieron las excavaciones y se pudo comprobar que esta decoración geométrica que se había localizado el año anterior, era el extremo de un gran friso de 4.75 m de longitud y 1.50 m de altura, y que estaba centrado en el paramento occidental del basamento de la Subestructura 2. Este altorrelieve de piedra estucada se sitúa en un plano ataludado. Incluye una figura principal, situada en el centro de la composición, a cuyos lados los motivos mantienen el mismo diseño aunque el conjunto no es totalmente simétrico. El giro y la inclinación de los distintos volúmenes provoca que la visión del conjunto converja en el personaje central, en cuyo rostro se aprecia que ha sido mutilado, posiblemente de forma ritual, perdiendo la nariz o trompa que poseía (Vidal y Muñoz 2014:31) (Fig.3).

El trabajo de dejarlo al descubierto se realizó mediante la apertura de una zanja de 1 m de anchura que permitió acceder a él para realizar las labores de limpieza y consolidación de urgencia, así como documentarlo de forma minuciosa. Durante tres días se procedió a una limpieza mecánica, realizada con escarpelo y brocha, para eliminar la pátina de barro y tierra adherida al friso, haciendo especial énfasis en las esquinas e intersticios de los diferentes volúmenes y piezas, que presentaban una mayor acumulación de tierra.

## **Toma de datos y documentación**

Para documentar este importante elemento arquitectónico se optó inicialmente por utilizar los recursos disponibles en campo y, en consecuencia, se realizó un levantamiento manual mediante un dibujo del alzado frontal realizado a mano alzada sobre papel milimetrado a escala 1:10. Las medidas para este dibujo se tomaron pormenorizadamente con cinta métrica, distanciómetro láser, plomada y nivel (Vidal y Muñoz 2014:114) (Fig.4).

Gracias al buen estado de conservación en el que se hallaba el friso, se percibía con facilidad que está compuesto por grandes bloques de piedra tallados. Así, el dibujo se inició con la definición geométrica de los diferentes bloques de que se compone, para detallar posteriormente los relieves de cada uno de ellos y anotar sus medidas. Pero la superposición de diferentes planos y volúmenes, y los giros y los ángulos entre ellos dificultan la representación plana del friso, siendo imprescindibles varias secciones horizontales y verticales para obtener una aproximación mínima, aunque muy simplificada, de su geometría real, dado su carácter tridimensional.

Considerando las condiciones en las que se había excavado el friso y la necesidad de volver a sepultarlo para poder garantizar su conservación hasta la próxima temporada de campo, se vio la necesidad de realizar una segunda toma de datos exhaustiva que permitiera su completa restitución gráfica y su análisis y estudio pormenorizado, por lo que se consideró conveniente, por su rapidez, su fiabilidad y la amplitud de información que recoge, utilizar la tecnología de escáner láser.

Para ello se trasladó desde España un escáner láser Faro Focus 3D S120 de la Universidad de Valencia para proceder a realizar una toma de datos de campo del friso y su entorno. Este instrumento permite medir elementos situados a 360 grados a su alrededor en horizontal, 320 grados en vertical y hasta una distancia aproximada de 120 metros.

La principal ventaja que presenta este modelo respecto a otros equipos existentes en el mercado es que tiene un peso (5.4 Kg) y un tamaño (0.24 x 0.20 x 0.10 m) mucho más reducidos que otros equipos similares, lo que facilita su transporte en lugares de difícil acceso y su fácil manejo en campo. Además ofrece la posibilidad de realizar escaneos incluso si el día es muy soleado y la batería tiene una autonomía de aproximadamente 4 horas, lo que representa una ventaja para sitios sin red eléctrica como es el caso de La Blanca.

El funcionamiento de este dispositivo se basa en la tecnología de variación de fase (phase shift technology), que consiste en la emisión de una señal luminosa que refleja en los objetos situados en el entorno y calcula la distancia del escáner que la emite a cualquier punto, mediante la comparación de los tiempos de la señal de salida con la de retorno (Herguido y López 2013:4). Los valores de los ángulos horizontal y vertical correspondientes a cada punto permiten al dispositivo colocar en un espacio tridimensional virtual los puntos alcanzados, generando así una nube de puntos que representa fielmente la forma del objeto de estudio.

Este escáner es capaz de tomar datos de cerca de un millón de puntos por segundo, con un error máximo de 1.2 mm a una distancia de 10 m. El nivel de precisión de cada escaneo depende de los valores de calidad (número de veces que el láser registra un punto) y de densidad (número de puntos por unidad de superficie). Estos dos valores ajustables determinan el tiempo de cada barrido y se eligen en función de las características del objeto de estudio, de los objetivos del trabajo y de las condiciones del entorno en donde se realiza la toma de datos.

Esta capacidad de personalización de las características de los escaneos permite que la toma de datos se pueda ajustar tanto a edificios completos o espacios de gran escala como a objetos arquitectónicos o escultóricos de menor dimensión como es el caso del friso, para el que se precisaba trabajar a una escala reducida y obtener una alta densidad de puntos que permitieran registrar con exactitud su forma e incluso su configuración constructiva. Adicionalmente, este modelo de escáner ofrece la opción de realizar un barrido fotográfico después de cada escaneo mediante el cual asigna un píxel de color a cada punto registrado, lo que permite que la imagen que se obtiene del modelo tenga una apariencia muy próxima a la del objeto real.

La nivelación del aparato respecto al plano horizontal es automática, cada toma es autónoma y tiene su origen cartesiano en el mismo escáner, por lo que es necesario colocar puntos de registro o dianas en el área de trabajo para poder posteriormente unir todas las nubes en un mismo sistema de referencia. Esta operación requiere un planteamiento previo del número de escaneos y de su posición, con tal de asegurar que las diferentes nubes de puntos tengan como mínimo 5 dianas en común (Herguido y López 2013: 5) (Fig.5).

En el caso del friso se realizó una distribución de 38 dianas numeradas que se situaron sobre la tierra superior de la excavación y sobre el zócalo y la hilada de sillares superiores que enmarca el friso para evitar tapar zonas del área que se quería escanear pormenorizadamente.

La zanja de excavación que se hizo delante del friso, tenía una anchura de aproximadamente 0.90 m, lo que dificultaba la toma de datos a mayor distancia para poder registrar con un buen ángulo toda su longitud. Tratándose de una pieza de geometría compleja de la que se requería obtener un alto nivel de detalle, se realizaron 14 estaciones con valores altos de calidad y densidad de puntos, situados a poca distancia entre sí, desde ángulos distintos y realizados desde la parte inferior de la zanja y desde la superior, para evitar obtener “sombras” o zonas no registradas. El área de escaneo del dispositivo se acotó al área de interés para reducir el tiempo de cada toma, que resultó de 21 minutos incluyendo el barrido de registro de puntos y el fotográfico. De cada escaneo se obtuvo una nube de puntos y a partir de la unión de las diferentes nubes de puntos se consigue una nube de puntos final de aproximadamente 300 millones de puntos, garantizando un error máximo de 3 mm en el proceso posterior de unión de las diferentes nubes.

Con tal de situar la Subestructura 2 con respecto a los edificios ya dibujados de la Acrópolis, ubicados en una cota superior, se realizaron otras tomas a más distancia y con un

ámbito de escaneo mayor que permitieran relacionar las dianas colocadas en el friso con las situadas en las estancias del edificio 6J2, para obtener una nube de puntos más amplia que nos permitiera referenciar la posición exacta de la Subestructura 2 respecto a la Acrópolis.

El levantamiento digital requiere además una toma de datos fotográfica muy detallada que sirve como apoyo a los trabajos en gabinete. Se realizó un levantamiento fotográfico que cubre todas las caras de los volúmenes que forman el friso, para posteriormente poderlo aplicar como textura al modelo tridimensional, de forma que el resultado final refleje fielmente la realidad. Con los datos de la calibración de la cámara utilizada, las fotografías (tomadas con una distancia focal constante) se procesan y rectifican mediante programas digitales especializados de fotogrametría. En nuestro caso, el poco espacio disponible frente al friso dificultó enormemente este trabajo, obligándonos a realizar fotografías muy próximas al objeto de estudio y por tanto con muy poca amplitud de la toma fotográfica.

## **Resultados finales**

### Levantamiento manual

El levantamiento manual permitió tener un modelo a partir del cual pudimos tomar medidas generales de las subestructuras y realizar las primeras hipótesis sobre sus características, sin embargo no reflejaba con exactitud la volumetría compleja del friso.

A partir del escaneado del croquis del friso obtenido se imprimió una reproducción ampliada del mismo al doble de tamaño, que sirvió para calcarlo y obtener representaciones a escala 1:5 de carácter artístico. Se realizaron dos versiones: un dibujo esquemático de líneas y otro con la técnica de puntos para reflejar la volumetría (Vidal y Muñoz 2014:156) (Fig.6).

Las medidas tomadas manualmente sobre los croquis sirvieron para completar la restitución de los planos de arquitectura de la Subestructura 2 y documentar la escalinata situada frente al friso que desciende hasta la calzada.

### Levantamiento con escáner láser

La compilación de los archivos obtenidos mediante el levantamiento con escáner láser ofreció la oportunidad de disponer de una base de datos muy completa y precisa del objeto de estudio, un archivo de modelos tridimensionales de alta resolución y fieles al original, consultable y disponible en todo momento, lo que resulta de especial interés para casos de arquitectura en peligro o de objetos arquitectónicos de difícil acceso.

Un elemento arquitectónico y escultórico como el friso de la Subestructura 2 de La Blanca debe estar documentado con tal definición que permita apreciar hasta detalles milimétricos. Por ello, en el tratamiento de los datos y la obtención de resultados es necesario encontrar un equilibrio entre la precisión y el detalle geométrico y la necesaria simplificación del modelo para obtener visualizaciones interactivas a través de aplicaciones de realidad virtual (Fantini 2010:149).

Tras el procesado en gabinete de las nubes de puntos se puede obtener un modelo con un alto nivel de detalle del objeto de estudio, muy útil de cara a su investigación, análisis e interpretación. A partir de este modelo completo, se pueden generar modelos más simplificados que permitan visualizaciones en línea y presentaciones, de gran utilidad para su difusión cultural.

El primer paso del tratamiento de los datos es la unión de los diferentes escaneos en una nube de puntos final, a partir de la cual se obtienen los primeros resultados. Con la colocación de planos de corte en el espacio tridimensional se obtuvo una planimetría muy precisa del friso en imágenes bidimensionales (plantas, alzados y secciones) (Fig.7). La vectorización en líneas de estas imágenes mediante programas CAD permite disponer de una planimetría muy fiable sobre la que podemos realizar mediciones exactas de distancias, áreas o ángulos. Esta planimetría fue introducida en los planos generales de La Blanca, situados sobre una base topográfica que ha sido actualizada tras cada campaña (Fig.1).

Otro resultado que pudimos obtener a partir de la nube de puntos fue una ilustración vectorizada del friso, lo que permite disponer de una representación del objeto totalmente editable y útil para su reproducción a cualquier escala. Este dibujo se realizó a partir del calcado digital del alzado obtenido de la nube de puntos mediante tableta gráfica, y con el apoyo del levantamiento fotográfico. Este tipo de representación es muy fiel y resulta muy útil de cara los análisis y estudios arquitectónicos e iconográficos (Fig.8).

Además de generar estos resultados iniciales, la nube de puntos sirvió como base para crear una malla poligonal 3D del friso que tenía un total de cerca de 21 millones de polígonos. Antes de obtener un modelo en tres dimensiones a partir de esta malla resulta imprescindible procesar, corregir, esquematizar y optimizar los datos con tal de que el modelo se pueda percibir de una manera próxima a la realidad (Merlo et al. 2013:4).

Con la malla completa se obtiene un modelo 3D de alta definición (high poly mesh), a partir del cual se pueden generar planos, imágenes tridimensionales, vídeos, reproducciones, impresiones 3D o representaciones virtuales (Fig.9).

De cara a la difusión de este hallazgo, se planteó la posibilidad de visualizar el modelo en aplicaciones interactivas y de realidad virtual. Para ello, es necesario aplicar la textura real a un modelo más simplificado y con menor densidad de polígonos (low poly mesh), en nuestro caso unos 29,000. Mediante distintos programas informáticos, se proyectan sobre la maqueta digital las fotografías realizadas, utilizando puntos de referencia entre el modelo y las fotografías (Fig.10). El archivo final puede exportarse a aplicaciones para su visualización en línea en tiempo real o incluso a dispositivos de simulación gráfica virtual que permiten al observador contemplar e interactuar con el objeto en tres dimensiones en un entorno de realidad virtual de inmersión (CAVE, Cave Automatic Virtual Environment) mediante visión estereoscópica y con la ayuda de gafas especiales con sistema de posicionamiento (Merlo et al. 2013:14).

## **Conclusiones**

El uso de tecnologías de levantamiento digitales junto con técnicas tradicionales nos ha permitido por un lado, comparar las ventajas y limitaciones de ambos métodos, y por otro, complementar los datos que se obtienen. El levantamiento manual, aunque tiene menos precisión, permite realizar comprobaciones y obtener resultados, aunque más simplificados, de forma más rápida y sencilla.

El uso de herramientas digitales de restitución gráfica ha supuesto una gran ventaja para este caso concreto en el que el objeto tenía una geometría muy compleja y además se disponía de muy poco tiempo para su documentación. Con esta tecnología, la toma de datos in situ es mucho más efectiva y ágil y se consigue un alto nivel de precisión en el modelo. Además, los rápidos avances de estos dispositivos permiten mejoras sustanciales en el tamaño, la rapidez y la autonomía de los aparatos, lo que supone que su aplicación al patrimonio maya constituya un campo incipiente de gran interés.

La información obtenida con las nubes de puntos constituye una base de datos documental muy importante sobre el objeto patrimonial. Su tratamiento y procesado posterior en gabinete es un proceso complejo en el que se necesitan varios programas informáticos, pero permite obtener como resultado diferentes soportes gráficos muy avanzados y muy útiles de cara a su investigación, interpretación y difusión. El campo de la tecnología láser para levantamiento de objetos patrimoniales tiene en este momento el reto de unificar los programas informáticos y optimizar el tiempo de procesamiento de los datos, lo que en un futuro cercano, sin duda, supondrá que estas técnicas sean mucho más versátiles y eficientes.

En el caso del friso hallado en La Blanca, la aplicación de estas técnicas ha permitido que pudiera ser sepultado nuevamente para garantizar su conservación, sin que ello dificulte su investigación y análisis mediante los modelos e informaciones obtenidos con la toma de datos pormenorizada obtenida por la aplicación de estas nuevas tecnologías, que se realizó con una gran rapidez y con una alta calidad y fiabilidad, contribuyendo así a preservar la integridad del patrimonio cultural maya.

## **Agradecimientos**

Los autores agradecen expresamente el apoyo del Ministerio de Economía y Competitividad, a través de la financiación de los proyectos de investigación coordinados con número de referencia BIA2011-28311-C02-01 y 02, así como el patrocinio del Ministerio de Educación, Cultura y Deportes de España, a través de la financiación obtenida por el Proyecto Arqueológico La Blanca y su entorno dentro del programa de ayudas para Proyectos Arqueológicos en el Exterior, y al Instituto de Antropología e Historia de Guatemala, que han contribuido de forma determinante a hacer posible las investigaciones y la obtención de resultados de arqueología y arquitectura que se exponen en esta publicación. Asimismo, agradecen la ayuda financiera recibida de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) para la puesta en marcha del Proyecto “Aplicación de nuevas tecnologías para el estudio y difusión del

patrimonio cultural maya como factor de educación y desarrollo”, el apoyo en la toma de datos de campo del arquitecto José Leonel López Hernández de la Universidad San Carlos de Guatemala y el apoyo y las orientaciones teóricas recibidas del Profesor Alessandro Merlo de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Florencia (Italia).

## Referencias

Fantini, Filippo

2010 Image Based Data Processing (IBDP): la restituzione attraverso displacement subD a partire dal rilevamento laser scanner, en *Materia e Geometria* 18: 149-158.

Herguido Alamar, Zacarías y José Leonel López Hernández

2013 Reverse Modelling and Virtual Reconstruction Project. La Blanca, Guatemala 2012. En 17th International Conference on Cultural Heritage and New Technologies 2012 (CHNT 17) (editado por Wolfgang y Börner). Museen der Stadt Wien, Viena.

Merlo, Alessandro; Eduardo Vendrell Vidal, Filippo Fantini y Carlos Sánchez Belenguer  
2013 The Mayan mascarón from Chilonché (Petén, Guatemala): New technologies for cultural heritage dissemination. En 17th International Conference on Cultural Heritage and New Technologies 2012 (CHNT 17) (editado por Wolfgang y Börner). Museen der Stadt Wien, Viena.

Muñoz Cosme, Gaspar

2006 Introducción a la arquitectura maya. General de Ediciones de Arquitectura, Valencia.

2007 El Palacio de Oriente. En *La Blanca y su entorno. Cuadernos de arquitectura y arqueología maya 2* (editado por C. Vidal y G. Muñoz), pp. 21-28. Editorial UPV. Valencia.

Muñoz Cosme, Gaspar y Cristina Vidal (eds.)

2005 *La Blanca. Arqueología y desarrollo*. Editorial UPV. Valencia.

2006 *La Blanca. Arquitectura y clasicismo*. Editorial UPV. Valencia.

Muñoz Cosme, Gaspar; Cristina Vidal Lorenzo y Andrea Peiró Vitoria.

2010 *La arquitectura de la Acrópolis de La Blanca (Guatemala)*. *Arché* (4-5):381-386. Valencia.

Vidal Lorenzo, Cristina y Gaspar Muñoz Cosme

2010 Informe de las investigaciones arqueológicas del Proyecto La Blanca, Petén, Guatemala (Octubre-Diciembre 2009), (Dirigido por C. Vidal y G. Muñoz). Informe inédito presentado al Instituto de Antropología e Historia de Guatemala y al Ministerio de Cultura de España. Valencia.

2011 Informe de las investigaciones arqueológicas del Proyecto La Blanca-El Chilonche, Petén, Guatemala (Octubre-Diciembre 2010), (Dirigido por C. Vidal y G. Muñoz). Informe inédito presentado al Instituto de Antropología e Historia de Guatemala y al Ministerio de Cultura de España. Valencia.

2012 Informe de las investigaciones arqueológicas del Proyecto La Blanca-El Chilonche, Petén, Guatemala (Noviembre 2011-Enero 2012), (Dirigido por C. Vidal y G. Muñoz),

Informe inédito presentado al Instituto de Antropología e Historia de Guatemala y al Ministerio de Cultura de España. Valencia.

2014 Informe de las investigaciones arqueológicas del Proyecto La Blanca y su entorno, Petén, Guatemala (Noviembre 2013-Marzo 2014), (Dirigido por C. Vidal y G. Muñoz). Informe inédito presentado al Instituto de Antropología e Historia de Guatemala. Valencia.

Vidal Lorenzo, Cristina y Gaspar Muñoz (Eds.)

2007 La Blanca y su entorno. Editorial UPV. Valencia