

# Levantamiento de alta definición con escáner láser 3D. Estructura B Muro Este Zona Arqueológica de Tula

*Texto: Gilberto García Quintana, María Fernanda López Armenta y Celedonio Rodríguez Vidal*

*Arquitectos de la CNCPC - INAH*

*Responsable del Proyecto: Yareli Jáidar*

Podemos encontrar múltiples definiciones de levantamiento, sin embargo, todas pueden resumirse en un conjunto de operaciones que tienen el propósito de recopilar la mayor cantidad de información de un objeto, que sea medible y representable gráficamente para la comprensión del mismo. Un levantamiento puede aportar información dimensional, morfológica, estructural, constructiva e incluso histórica y su importancia radica en que permite una visión integral del objeto. Hay que tomar en cuenta que un levantamiento podrá realizarse antes, durante y después de cualquier tipo de investigación o intervención, e incluso podrá realizarse en diferentes ocasiones con fines comparativos.

Previo al levantamiento, es necesario conocer los objetivos y alcances específicos para así establecer la metodología más adecuada, que tome en cuenta las características particulares del objeto.

Los métodos de levantamiento son muy variados; han ido evolucionando con el tiempo y han sido partícipes de la actualización tecnológica de cada

época, siempre buscando superar la calidad, precisión y tiempos de captura de datos. Una de las mejores opciones, hoy en día, para documentar bienes culturales es el método conocido como HDS o *High Definition Survey* (Levantamiento de Alta Definición) cuya ventaja principal es el ser un método no destructivo con la capacidad de generar modelos de tres dimensiones de manera rápida, detallada y precisa.

La tecnología HDS consiste en usar los escáneres láser terrestres cuyo funcionamiento se da a partir de la emisión de un rayo láser hacia la superficie de un objeto. Al tener contacto con la superficie es reflejado hacia el equipo, que interpreta la información captada en forma de puntos con coordenadas en tres dimensiones (x, y, z). Al conjunto de estos se les conoce como nube de puntos.

La información obtenida a partir de un modelo único en nube de puntos tiene distintas interpretaciones según el campo de estudio al cual esté dirigida. Ejemplos de aplicaciones son las mediciones de



▲ *Figura 1. Vista general de la Fachada Este de la Estructura B. CNCPC | © INAH, 2015.*

---

gran exactitud, dibujo de planimetrías y altimetrías, superficies, recorridos virtuales, monitoreo, intercambio con diversos tipos de software, entre otras cosas.

Para un mejor entendimiento de esta metodología presentamos el caso de la Pirámide de Tlahuizcalpantecuhlli o Estructura B de la Zona Arqueológica de Tula, en Hidalgo (México), que es un proyecto en proceso que por el nivel de exigencia para su conservación y restauración se consideró un buen candidato para la aplicación de esta tecnología (Fig.1).

La Dra. Yareli Jáidar de la CNCPC, responsable del proyecto de conservación, nos expuso la problemática que presenta el objeto de estudio: la fachada Este de la Estructura B conserva parcialmente, en el sistema de *talud y tablero*, representaciones de águilas y jaguares (León Portilla, 2008) esculpidas en piedra. En algunos de los relieves es notorio el desgaste de la piedra y, en su mayoría, también conservan restos de aplanados en diversas capas. Se definió como objetivo del levantamiento analizar el estado actual de los relieves y monitorear de manera precisa y detallada las variaciones que puedan presentar en un futuro.

Con este proyecto, nos encontramos con la necesidad de diseñar un plan de monitoreo de las condiciones superficiales de los tableros. Nos enfrentamos a un problema que definitivamente no es nuevo: monitorear relieves cuyos materiales están expuestos a diversos agentes naturales, ya que a pesar de estar en un espacio cubierto, no está completamente protegido del viento, humedad, la luz solar directa, flora y fauna, entre otros. Asimismo no debemos dejar de lado el hecho de que es una zona abierta al público y esto siempre conlleva un riesgo adicional para las estructuras.

Por otro lado, las superficies irregulares, sobre todo aquellas cuyas texturas son variadas, siempre constituyen una dificultad de registro, puesto que los métodos visuales tradicionales como la fotografía y el dibujo no consiguen cubrir a detalle la geometría (Manrique Tamayo, Silvia y Valcárcel Andrés, Juan 2014). El escaneo láser resolvió en parte ese problema al permitirnos alcanzar una resolución milimétrica en el registro geométrico de las superficies.

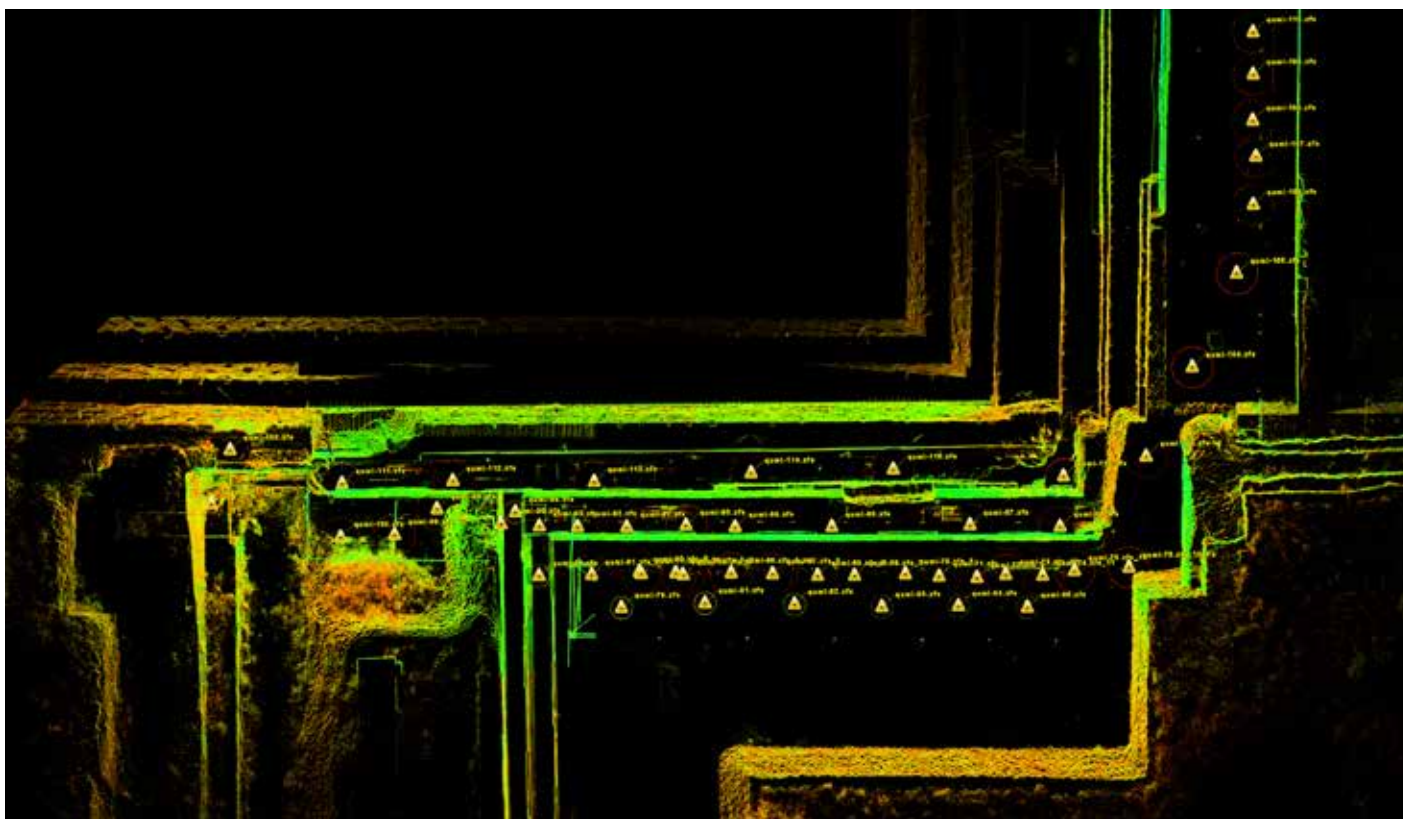
Con el fin de trazar el plan de trabajo se procedió a realizar una visita de prospección al sitio, en la cual se definieron los alcances y limitaciones del levantamiento, se cuantificó el número de posiciones

de escaneo y por tanto el tiempo requerido. Además la visita sirve para hacer observaciones de las condiciones requeridas en el sitio al momento de realizar el levantamiento. En este caso, se solicitó liberar la zona de objetos y vegetación, ya que estando entre el escáner y el objeto, interfieren en la captura de datos. Estas acciones permiten tener un levantamiento más fluido y agilizan los procesos en gabinete, como la integración de las nubes de puntos en un modelo único y la limpieza de puntos innecesarios.

El levantamiento se ejecutó con un escáner láser modelo Leica HDS 6200 y cámara externa Nikon D3100 con lente AF DX Fisheye-Nikkor 10.5 mm f/2.8G ED sobre soporte Nodal Ninja. Dadas las condiciones del sitio y de acuerdo a los requerimientos del proyecto, se decidió que las posiciones de escaneo no estuvieran muy alejadas del muro ni tampoco entre ellas. Se configuró el escáner para hacer un barrido de 360 grados con un tiempo de 3.17 minutos por toma; esta configuración nos da un resultado con muy buena resolución de los relieves al tener el modelo completo, alrededor de 2 a 3 milímetros de separación entre cada punto.

La estrategia de levantamiento consistió en instalar el equipo en la esquina Sureste y desplazarlo lateralmente, posicionándolo aproximadamente a cada metro hasta llegar a la esquina Noreste. Se realizaron catorce posiciones sobre el tripié y, para cubrir las partes bajas de la cornisa, se realizaron seis más con el escáner a nivel de piso; con esto se cubrió perfectamente todo el tablero a lo largo del muro. En el segundo cuerpo, se comenzó por la esquina Noreste con posiciones más separadas, ya que en esta parte el muro no conserva los tableros con relieves y no era necesario obtener mucho detalle. Al llegar frente a los tableros con relieves, nuevamente se realizaron las posiciones más cercanas entre sí, para obtener el mismo nivel de detalle que en el primer cuerpo. En este nivel se realizaron catorce posiciones sobre tripié y una a nivel de piso. El tercer nivel tampoco tiene relieves, por tanto, se realizaron ocho posiciones separadas aproximadamente a cada tres metros; éstas solamente fueron para obtener el volumen completo del segundo cuerpo. Se decidió ligar el lado Este de la pirámide con el Norte que también cuenta con relieves; se hicieron ocho posiciones del lado sur del Coatepantli o Muro de serpientes (Fig.2).

Desde cada posición del escáner que se realizó, se hicieron tomas fotográficas con lente ojo de pez. La cámara se monta en el adaptador Nodal Ninja para tener el mismo punto de vista del escáner, se



▲ Figura 2. Vista en planta de la nube de puntos con las posiciones de escaneo. CNCPC | © INAH, 2015.

toman ocho fotografías en la horizontal, dos más a 45 grados en la vertical, una cenital y una más hacia abajo. El total de doce fotografías se fusiona después en gabinete, en un panorama de 360 x 360 grados que posteriormente genera las seis vistas de un cubo, que son las que se integrarán a la nube de puntos de su posición del escáner correspondiente dándole color (Figs. 3 y 4).

Posterior al levantamiento, en gabinete se importan los datos que arroja el escáner en formato .ZFS al software Cyclone que los convierte al formato .IMP. A continuación, se realiza el registro de todas las tomas, es decir, se integran las diferentes posiciones por medio de áreas en común, obteniendo un modelo único en nube de puntos, que si es necesario puede ser depurado, eliminando los puntos no deseados o que no corresponden al objeto de estudio. Por último, a la nube de puntos se le integran las fotografías, obteniendo así el primer resultado del proyecto de levantamiento, que es un modelo tridimensional del estado actual de las estructuras (Figs.5 y 6).

Como plan de monitoreo, se planea realizar múltiples secciones de la nube en puntos en lugares estratégicos y replicables, para distinguir a través de ellas cualquier cambio significativo, comparándolas con las secciones que se generen en posteriores

levantamientos. Las secciones también nos darán información de pérdidas de material significativas, así como datos de desplomes en los cuerpos de la estructura y de indicios de algún otro tipo de deformaciones (Fig.7).

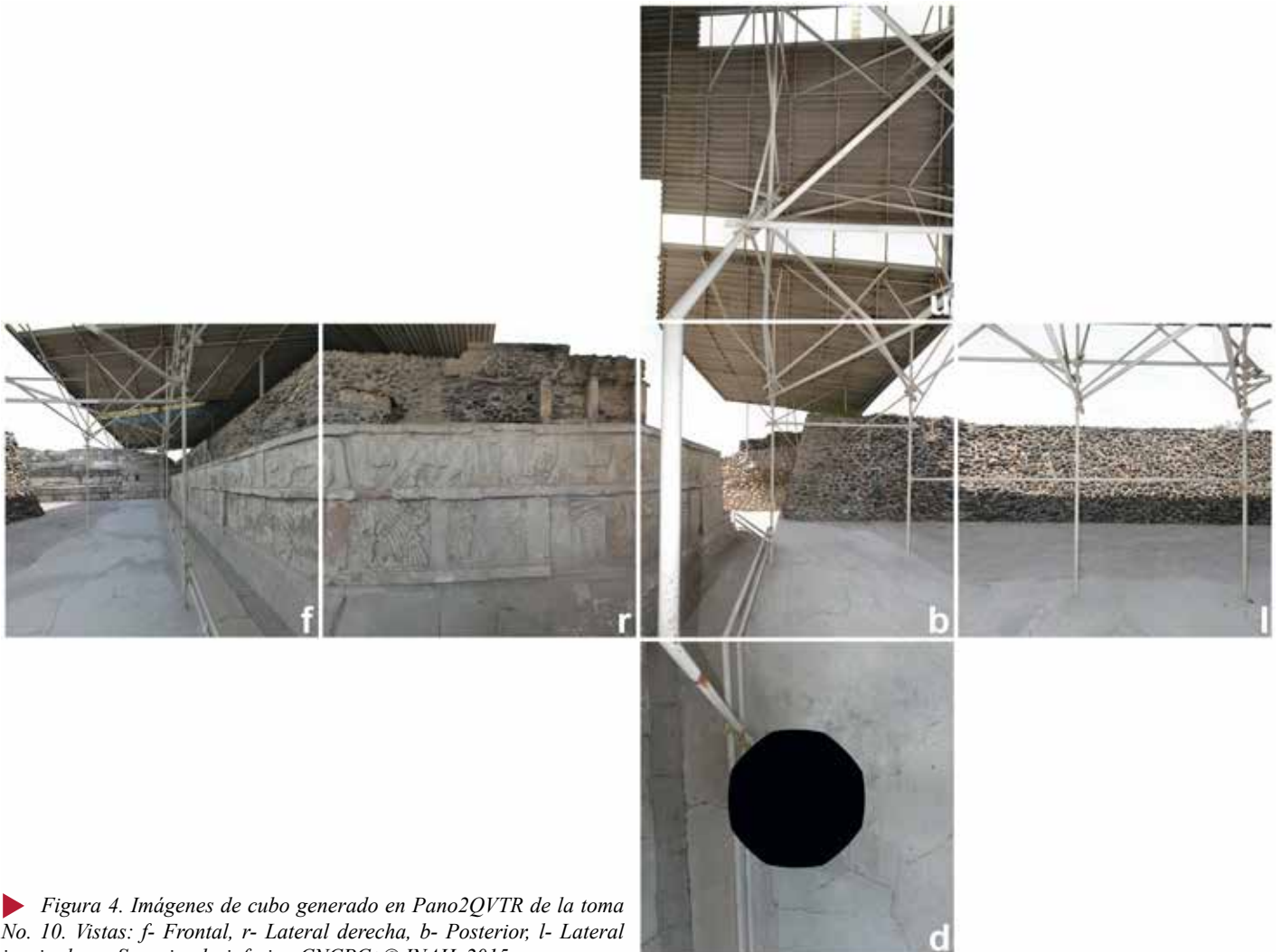
Para algunos relieves que requieran especial atención, será posible generar modelos tridimensionales en malla triangular, que son modelos generados a partir de la nube de puntos, que tienen la ventaja de ser superficies continuas mucho más fáciles de entender y sobre todo de comparar por medio de un software especializado llamado Geomagic, el cual muestra las áreas que conservan la misma geometría y las que presentan mayores diferencias.

Adicionalmente, el escáner láser utilizado, recopila otro tipo de información que en diversas partes del mundo ha sido muy explorada y que en México apenas se comienza a aprovechar. Estamos hablando de la reflectancia, es decir la capacidad de las superficies para reflejar la luz (Manrique, Tamayo y Valcárcel, Juan, 2014). El valor de reflectancia, es decir la cantidad de luz reflejada, varía dependiendo de los materiales y sus condiciones. Por ejemplo, una piedra refleja más luz cuando está seca que cuando está mojada o en condiciones de humedad.

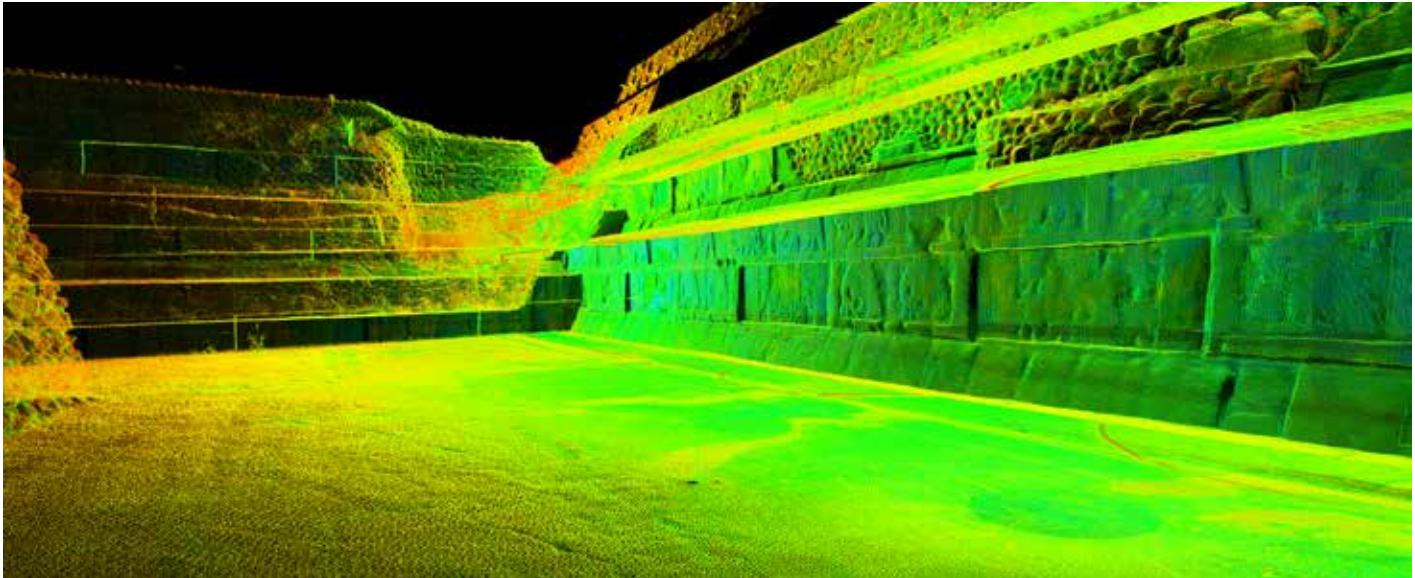




▲ Figura 3. Panorama 360x360 grados generado en PTGui de la toma No. 10. CNCPC | © INAH, 2015.



► Figura 4. Imágenes de cubo generado en Pano2QVTR de la toma No. 10. Vistas: f- Frontal, r- Lateral derecha, b- Posterior, l- Lateral izquierda, u- Superior, b- inferior. CNCPC | © INAH, 2015.



▲ Figura 5. Vista perspectiva de la Fachada Este en nube de puntos. CNCPC | © INAH, 2015.



▲ Figura 6. Vista perspectiva de la Fachada Este en nube de puntos con fotografía integrada. CNCPC | © INAH, 2015.



▲ Figura 7. Secciones del primer cuerpo de la Fachada Este en nube de puntos. CNCPC | © INAH, 2015.



Los escáneres láser Leica registran la cantidad de luz que refleja cada punto leído. Posteriormente el software Leica Cyclone traduce estos valores de reflectancia a un rango de colores conocidos como “mapa de intensidades” que van desde el azul para los más reflejantes, hasta el rojo para los menos reflejantes. Además permite manipular la forma de visualizar esa información cromática, haciendo resaltar ciertos valores más que otros, lo que constituye una herramienta poderosa al momento de hacer lecturas e interpretaciones (Fig.8).

En nuestro caso de estudio, nos permitirá identificar en la nube de puntos los restos de aplanados e incluso otros signos de deterioro, que podrán ser dibujados y cuantificados a detalle y, una vez más, compararlos con posteriores levantamientos.

Podemos concluir señalando que el escáner láser 3D es una herramienta que genera una copia digital de alta fidelidad de un momento histórico del objeto y por tanto constituye una fuente de consulta permanente que puede responder, ahora o a futuro, a las necesidades de diferentes campos de estudio. Por otra parte, la investigación de sus aplicaciones como herramienta de documentación para el diagnóstico favorece la generación de nuevo conocimiento en materia de tecnología al servicio de la conservación y contribuye a una mejor toma de decisiones para la salvaguarda del patrimonio.

## Agradecimientos

A la Coordinación Nacional de Arqueología del Instituto Nacional de Antropología e Historia por el apoyo otorgado con el préstamo del Equipo Escáner Láser HDS 6200 y sus accesorios para la ejecución del levantamiento.

A Sistemas y Servicios para Topografía, S. A. de C. V. por el apoyo otorgado al facilitar una Licencia de prueba del software Cyclone para el procesamiento de datos.

## Referencias

ALMAGRO GORBEA, Antonio (2004) *Levantamiento arquitectónico*. Universidad de Granada, Granada.

LEÓN PORTILLA, Miguel (2008) *Tula Xicocotitlan: historia y arqueología. Estudios de cultura Náhuatl*, Volumen 39, pp. 65-86.

MANRIQUE TAMAYO, Silvia Noemí y VALCÁRCEL ANDRÉS, Juan (2014) *Aplicaciones del Reflectance Transformation Imaging para el análisis por imágenes de superficies en la conservación y restauración de bienes culturales*. Ciudad de México, s.n.

▼ Figura 8. Perfiles del tablero labrado de la fachada Este de la Estructura B. CNCPC | © INAH, 2015.

