

El escáner láser, una herramienta tecnológica aplicada al patrimonio arquitectónico

Ángel Mora Flores*

El Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), a través de la Coordinación Nacional de Monumentos Históricos (CNMH) y el Laboratorio de Imagen y Análisis Dimensional (LIAD), instrumentó en el año 2009 la innovadora tecnología del escáner láser para fortalecer el conocimiento científico y tecnológico en materia de bienes arquitectónicos, y, de acuerdo con este fin, formar una base de datos con modelos digitales tridimensionales de monumentos históricos y arqueológicos emblemáticos del país. Tecnología de postrema generación y constante evolución en su portabilidad y autonomía de operación, que ha permitido

* Coordinación Nacional de Monumentos Históricos, INAH.

su aplicación en varios bienes arquitectónicos culturales de México (figura 1).

Las primeras aplicaciones de las que se tiene conocimiento en México con esta tecnología, se dieron en la industria petrolífera para documentar de forma precisa plataformas petroleras y refinerías, donde predominan las formas cilíndricas y esféricas de difícil acceso y en ocasiones inaccesibles por la altura a que se encuentran instaladas y la temperatura irradiada del acero. A partir de las anteriores aplicaciones y resultados obtenidos, instituciones gubernamentales y académicas en países europeos que custodian o que son copartícipes de la salvaguardia del patrimonio arquitectónico nacional, llevan su aplicación como una herramienta de apoyo a pro-

yectos de intervención, investigación o por el hecho de documentar de forma rápida y precisa la arquitectura histórica. Es preciso señalar que existen muchos tipos de escáneres en el mercado con diferentes capacidades técnicas, entre las que se pueden mencionar la precisión, distancia de aplicación, amplitud de barrido y captura de color y textura por medio de la fotografía, entre otras. Tecnología que funciona como una estación total con la diferencia de tener georreferenciados más puntos en menos tiempo. Los siguientes resultados se basan en la capacitación, experiencia y pragmatismo en el uso de la tecnología láser.

| 171



Figura 1. Levantamiento arquitectónico con tecnología escáner láser del claustro del exconvento de La Merced, ciudad de México, 2011.



Figura 2. Levantamiento arquitectónico con tecnología escáner láser del Fuerte de Guadalupe, Puebla de Zaragoza. 2011.

Los modelos tridimensionales de las estructuras históricas son construidos con base en millones de puntos que se posicionan en coordenadas X, Y y Z, a lo que se denomina una “nube de puntos” por su forma adoptada. La densidad de información que puede ser obtenida con los escáneres de la marca Leica Geosystems, con los cuales se han realizado levantamientos arquitectónicos y algunas demostraciones, van desde los 50 000 hasta 1 000 000 de puntos por segundo, con una separación entre punto y punto mínima de una décima de milímetro, dando millones de referencias de medición irrepetibles. Una de las principales características que se han identificado en los escáneres radica en la distancia de reflectividad que se genera entre el origen del láser y una su-

perficie; a mayor densidad de puntos menor distancia de alcance y de forma inversa. El escáner láser con que cuenta la CNMH-INAH es un modelo ScanStation2 de la misma marca, con característica de 300 metros de reflectividad; 50 000 puntos por segundo, campo de visión de 360° en horizontal y 270° en vertical, levantamiento de 111 fotografías rectificadas por cada posición del escáner e indicador de nivel de burbuja, características técnicas que permiten trabajar en espacios interiores y exteriores con la obtención de datos con precisión de error de 2 milímetros (figura 2).

La experiencia adquirida a lo largo de tres años se basa en diversas metodologías de levantamiento y procesamiento de datos que se han obtenido. La primera de ellas impartida por el Centro

Dipartimentale per lo Sviluppo di Procedure Automatiche Integrate per il Restauro dei Monumento (DIAPReM), de la Facultad de Arquitectura de Ferrara, Italia, conocida en el año 2007, y la segunda en la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), España, en el periodo comprendido del año 2008 al 2010, siendo esta última la que permitió cristalizar el proyecto a través del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio (IURP), con un proyecto de cooperación al desarrollo titulado “Implementación de nuevos métodos de documentación y registro fotogramétrico digital para la protección y puesta en valor del patrimonio monumental mexicano”, consistente en que dos catedráticos de la politécnica capacitaran a un grupo de técnicos pertenecientes a la CNMH-INAH en el manejo de la tecnología láser, con quienes se realizaron tres visitas programadas, donde se establecieron pautas para dar conformación y seguimiento a un laboratorio

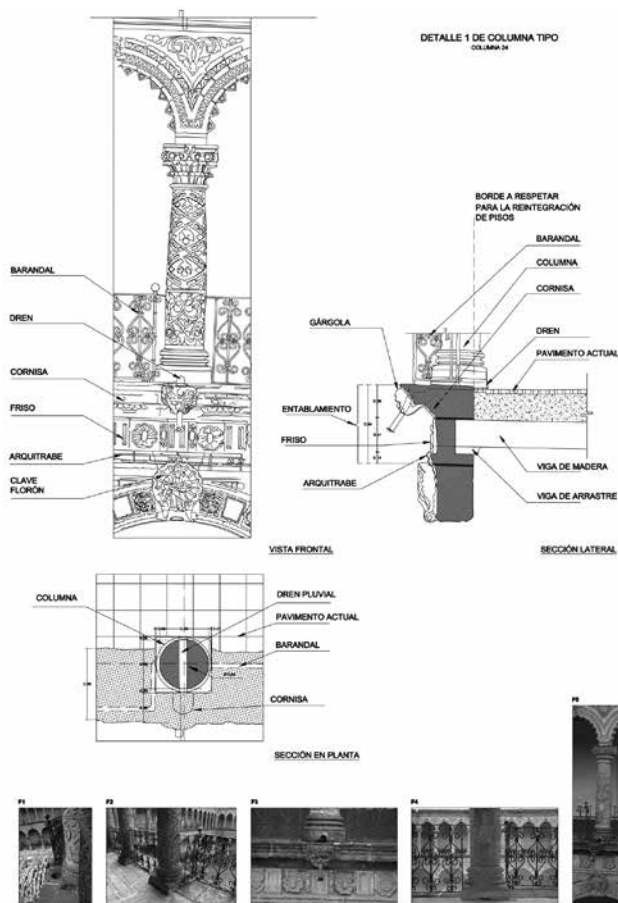


Figura 3. Dibujo arquitectónico de columna tipo interpretado a partir de la información generada por el escáner láser. Claustro del ex convento de La Merced, ciudad de México, 2011.

autónomo con sede en México, al cual se le ha denominado Laboratorio de Imagen y Análisis Dimensional.

Mediante procedimientos de gabinete, con la información digital registrada se generan planimetrías, altimetrías (LIAD; figura 3) y modelos digitales, con la posibilidad de reproducción

tridimensional a escala por medio de polímeros. El pragmatismo de los técnicos especializados en el manejo de la información obtenida con el escáner ha brindado mayor utilidad a las nubes de puntos; muestra de esto son modelos sólidos con textura y color en formato .pdf de fácil manejo, que pueden ser manipulados sin requerir



Figura 4. Modelo tridimensional con textura de una huella fosilizada realizada a partir del levantamiento con escáner láser. Cuatro Ciénegas, Coahuila. 2011.

conocimientos especializados. Ejemplo de esto son los trabajos realizados en las 17 huellas humanas fosilizadas que fueron encontradas en el desierto de Cuatro Ciénegas, Coahuila, escaneadas en el año 2011 (figura 4), y en fechas recientes el puente histórico en San Miguel Tequixtepec, Oaxaca, y el monolito de Tlattecuhlti, situado en el predio que ocupó el inmueble comúnmente conocido como “Casa de las Ajaracas”, en el Centro Histórico de la ciudad de México (figura 5).

La precisión milimétrica con que se realizan los barridos a través del láser, está en función del objetivo del levantamiento, que habrá de determinarse en la etapa de análisis de la estructura a escanear. Si solamente se requiere de los perfiles de la



Figura 5. Modelo tridimensional con textura del monolito de Tlaltecuhtli, realizado a partir del levantamiento con escáner láser. Situado en el predio que ocupaba el inmueble comúnmente conocido como “Casa de las Ajaracas”, ciudad de México. 2012.



Figura 6. Levantamiento con tecnología escáner láser de 17 huellas humanas fosilizadas. Desierto de Cuatro Ciénegas, Coahuila. 2011.

174 |

estructura, a través del programa Cyclone se puede manipular la separación entre puntos por cada escaneo. De forma contraria, si se requiere de la identificación de las juntas constructivas, se trabajará con la máxima densidad de puntos, que requerirá de mayor tiempo por cada escaneo. Para obtener la morfología completa de una estructura es necesario realizar varios escaneos en diferentes posiciones, donde se buscará tener en común tres superficies pequeñas que sean identificables desde varias posiciones, para que puntos obtenidos con el láser permitan —en la etapa de gabinete— realizar el procedimiento de acoplamiento de

nubes para conformar un solo modelo tridimensional. Las nubes se irán entremezclando con los subsecuentes escaneos, que arrojarán una mayor densidad de datos. El software permite obtener el margen de error en el acoplamiento de escaneos, que pueden ser modificados hasta obtener en lo posible el valor cero.

El haz de luz con que se producen las imágenes tridimensionales, al ser de baja intensidad, no causa daño alguno al color y material de los monumentos, y tampoco para el hombre. No es necesario utilizar protección especializada si se tiene contacto con el láser. Es de suma importancia que al direccio-

nar el escáner láser no existan objetos en movimiento, como pueden ser peatones, vehículos, animales o cualquier tipo de objeto ajeno a la estructura, ya que al interponerse se generarán datos que no tendrán utilidad y que sólo formarán “basura digital” y retraso en el proceso de limpieza de nubes en la etapa de gabinete (figura 6).

A la fecha se han realizado 31 levantamientos arquitectónicos parciales en nubes de puntos, entre los que destaca el del edificio sede de la CNMH, que sirvió como ejemplo práctico para realizar el procedimiento de capacitación impartida por los catedráticos de la UPV. Con la información obtenida con el



Figura 7. Fachadas en nube de puntos con fotografía del patio principal del edificio sede de la Coordinación Nacional de Monumentos Históricos, ciudad de México. 2008-2009.



Figura 8. Fachada oriente en nube de puntos con fotografía de la Catedral Metropolitana y plaza Seminario Manuel Gamio, ciudad de México. 2008-2011.



Figura 9. Vista general en nube de puntos con fotografía del templo y antiguo hospital de la Santísima Trinidad, ciudad de México. Septiembre de 2009.

escáner se realizaron los planos arquitectónicos del inmueble, donde se pueden apreciar las deformaciones estructurales que se han manifestado a través de varias décadas, dando la posibilidad de monitoreo preciso en escaneos y análisis posteriores (figura 7).

El primer levantamiento realizado por el personal de la CNMH-LIAD de forma autónoma fue el de la plaza Seminario Manuel Gamio, ubicada al oriente de la Catedral Metropolitana, en apoyo al proyecto de lo que será el vestíbulo de acceso a la Zona Arqueológica de Templo Mayor, en donde se documentó a detalle la excavación durante cinco etapas de trabajo. En los últimos años se han sumado los levantamientos arquitectónicos parciales de las cuatro fachadas de Palacio Nacional, las fachadas de la Catedral Metropolitana (figura 8), los templos de la Santísima Trinidad (figura 9), la Concepción, Loreto y el claustro del exconvento de La Merced (figura 10), en el

Centro Histórico de la ciudad de México y la capilla de la Inmaculada Concepción en la Delegación Coyoacán. En los anteriores casos se han realizado diversos análisis milimétricos en elementos y espacios arquitectónicos, como medición de verticalidad en retablos, muros y contrafuertes, dibujo arquitectónico de plantas, fachadas interiores y exteriores, y análisis de niveles. Todo realizado por medio de software comercial asistido por CAD en tiempos sumamente reducidos.

En el interior de la República Mexicana se escanearon las tres arquerías monumentales del Acueducto del Padre Tembleque, la principal ubicada en la localidad de Santiago Tepeyahualco, municipio de Zempoala, Hidalgo, y Nopaltepec, Estado de México; la arquería localizada al interior y exterior de la hacienda de Tecajete y la arquería localizada en la hacienda de Arcos, en el municipio de Zempola, ambas en el estado de



Figura 10. Vista general en nube de puntos con fotografía del claustro del exconvento de La Merced, ciudad de México. 2010.



Figura 11. Perspectiva en nube de puntos con fotografía del Forte de Loreto. Puebla de Zaragoza. 2011.



Figura 12. Perspectiva en nube de puntos con fotografía del Forte de Guadalupe, Puebla de Zaragoza. 2011.

Hidalgo. El templo y antiguo convento franciscano de Santa Ana, en Tzintzuntzan, Michoacán, es uno de los

levantamientos arquitectónicos con mayor adelanto en la construcción del modelo tridimensional, donde se cuan-



Figura 13. Perspectiva en nube de puntos con fotografía del puente de Tequixtepec, Oaxaca. 2011.



Figura 14. Vista general en nube de puntos con fotografía del estudio arqueológico en el Templo de Quetzalcoatl, zona arqueológica de Teotihuacan. Estado de México. 2009-2011.

tifica un avance superior a 90%, lo que hizo posible generar en su totalidad las planimetrías y altimetrías en apoyo al proyecto de intervención integral del conjunto conventual.

Otros levantamientos arquitectónicos en que se tiene un avance significativo en la construcción del modelo tridimensional es el de la fortaleza de San Juan de Ulúa,

en el puerto de Veracruz; el acueducto de la ciudad de Oaxaca; los fuertes de Loreto y Guadalupe, en la ciudad de Puebla de Zaragoza, y en su totalidad se documentó el puente histórico de San Miguel, Tequixtepec, Oaxaca (figuras 11-13).

Asimismo, se han realizado diversos levantamientos arquitectónicos en zonas arqueológicas para apoyar

estudios especializados, como en la zona arqueológica de Templo Mayor y la de Tlatelolco, en la ciudad de México; el Castillo y Juego de Pelota de la zona arqueológica de Chichen Itzá; la zona arqueológica de las Yácatas, Tzintzuntzan, Michoacán, y el Templo de Quetzalcoatl, en Teotihuacan, donde se tiene documentado de forma parcial el túnel hallado bajo el templo, del cual queda pendiente el registro de las diversas etapas arqueológicas conforme avancen los trabajos de investigación (figura 14).

Esta tecnología influirá en una nueva forma de ver y valorar el patrimonio cultural de nuestro país, ofreciendo a los especialistas en las áreas de arquitectura, arqueología, restauración y personal técnico, información precisa para preservar físicamente los sitios históricos, que delegará a las generaciones futuras una base de datos de modelos tridimensionales del patrimonio arquitectónico de México.

Febrero de 2012