

SOBRE LA MEDICION INSTRUMENTAL EN EL LEVANTAMIENTO ARQUITECTONICO (resumen)

Miguel Angel Alonso Rodríguez

Departamento de Ideación Grafica Arquitectónica

ETSAM - UPM

Hasta hace apenas diez años la toma de datos en el levantamiento arquitectónico se realizaba a mano, midiendo con cinta y ayudándose de pértigas y plomadas.

Sin duda habría que señalar alguna excepción y referirse a la fotogrametría que rodeada de un halo de misterio y fascinación se empleaba en casos muy singulares, dando calidad y prestigio a un levantamiento.

Salvo esta práctica, y alguna otra, la forma de medir un edificio no se había alterado sustancialmente desde comienzos del renacimiento, cuando los arquitectos comenzaron a medir los de la antigüedad.

Sin embargo esta situación ha cambiado, notablemente, en poco mas de diez años, y así se reconoce en el documento que sintetiza la “Carta del levantamiento arquitectónico”, aprobada en el Congreso EGA de Barcelona, que recomienda conocer y tener en cuenta las peculiaridades de cada método de levantamiento actual.

Esta comunicacion se plantea como una reflexion sobre las distintas tecnicas de levantamiento desde las basadas en el levantamiento mas clasico de forma manual a las mas recientes como son la medicion con escaner o las nuevas tecnicas de fotogrametría correlada.

SOBRE LA MEDICION INSTRUMENTAL EN EL LEVANTAMIENTO ARQUITECTONICO

Miguel Angel Alonso Rodríguez

Departamento de Ideación Grafica Arquitectónica

ETSAM - UPM

Hasta hace apenas diez años la toma de datos en el levantamiento arquitectónico se realizaba a mano, midiendo con cinta y ayudándose de pértigas y plomadas, y en cambio se dibujaban con programas informáticos que permitían el modelado 3D, la asignación de materiales, las animaciones o la asociación a bases de datos, entre otras opciones.

Sin duda habría que señalar alguna excepción y referirse a la fotogrametría que rodeada de un halo de misterio y fascinación se empleaba en casos muy singulares, dando calidad y prestigio a un levantamiento.

Salvo esta práctica, y alguna otra, la forma de medir un edificio no se había alterado sustancialmente desde comienzos del renacimiento, cuando los arquitectos comenzaron a medir los de la antigüedad.

Sin embargo esta situación ha cambiado, notablemente, en poco mas de diez años, y así se reconoce en el documento que sintetiza la "Carta del levantamiento arquitectónico", aprobada en el Congreso EGA de Barcelona, que recomienda conocer y tener en cuenta las peculiaridades de cada método de levantamiento.

No obstante conviene señalar cierta tendencia que trata de asignar una larga tradición al levantamiento instrumental en arquitectura.

Con este objetivo es frecuente referirse al cuaderno de apuntes de Villard de Honnencourt y a dos dibujos que tratan del modo de calcular el ancho de un río sin atravesarlo y de la medición de la altura de una torre.

La siguiente referencia, al tratar del levantamiento instrumental en arquitectura, suele ser León Battista Alberti y su breve texto "Ludi matematici", donde explica el modo de medir puntos lejanos mediante un círculo graduado que le permite plantear y resolver el método de la bisección, y que podemos suponer que empleó en el levantamiento que llevó a cabo de las murallas romanas, recogido en "Descriptio Urbis Romae".

El método descrito es adecuado para determinar puntos singulares, pero en un levantamiento urbano es necesario, además, definir su trama de calles y plazas.

En la "Carta a León X", de comienzos del siglo XVI, se describe un instrumento para el levantamiento del perímetro de los edificios, de las manzanas urbanas o de las murallas de una fortificación. Consiste en una regla en la que se ha montado una brújula sobre un círculo graduado, de manera que apoyándola sobre un paramento obtenemos su orientación, y solo queda medir su longitud para tener los datos necesarios para un levantamiento urbano. En la carta a León X se describe este instrumento, que podemos además ver dibujado en otros tratados de la época.

Es contemporáneo del denominado báculo mensorio o cayado de Jacob, formado por dos listones en forma de cruz de modo que el transversal se desplaza sobre el longitudinal para determinar la distancia entre dos puntos sin acceder a ellos.

Estos son algunos instrumentos y métodos que en los documentos de la época aparecen relacionados con el levantamiento de arquitectura, pero en la práctica habitual no parece que se emplearan.

Serlio, aunque tiene bien ganada fama de plagiar dibujos, en alguna ocasión se refiere a que medía los edificios a mano, y de este modo en relación con el Arco de triunfo de Ancona, precisa que "la cornisa de arriba no fue medida por no poder subir a medirla".

Palladio dice que dedicándole largo tiempo y con grandes riesgos pudo medir, subraya que con sus propias manos, los restos de muchos edificios antiguos.

No obstante los errores que cometían en sus dibujos eran notables, tal como revela Desgodetz en su polémico tratado en el que sistemáticamente señala las diferencias existentes entre los trabajos de Serlio, Palladio y Chambray, y las medidas que el mismo había tomado con la ayuda de escaleras y andamios.

La práctica que describe Desgodetz, de medir los edificios empleando andamios y escaleras, es la que podemos ver en los dibujos y grabados del siglo XVIII cuando el viaje a Roma y el levantamiento de los edificios de la antigüedad era una etapa de la formación del arquitecto.

Son igualmente significativas en este caso las noticias que tenemos del comienzo de la estancia en Roma de Juan de Villanueva y Domingo Lois Monteaguado, los primeros pensionados de la Academia Española, a quienes a su llegada se les encomienda que realicen estudios sueltos de edificios mientras se proveen de instrumentos para medirlos.

A continuación la Academia acordó la compra de compases y reglones para uso de los pensionados. Sabemos que los dibujos para la construcción de los instrumentos los realizó Juan de Villanueva y los construyó el carpintero Cayetano Paparelli al que se le pagaron trece escudos romanos como importe de la madera, hierro y ejecución de los mismos. Sabemos que Juan de Villanueva los empleó

para medir, al menos, el Arco de Tito en Roma. También conocemos que midió y dibujó las tres columnas del templo de Castor y Pólux del Foro, en la misma época que lo hicieron Piranesi, George Dance y otros muchos sirviéndose de los andamios que estaban dispuestos para su consolidación; quizás también los empleó el arquitecto español.

Juan de Villanueva probablemente empleó compases pértigas y plomadas para la realización de los dibujos de la Alhambra que dirigió José de Hermosilla Sandoval quien además contó para esta misión con Juan Pedro Arnal.

Pero de esta empresa interesa destacar el uso que sabemos que se hizo de la plancheta. Los tres arquitectos llegaron a Granada el 3 de octubre de 1766 y en la correspondencia de José de Hermosilla con su hermano Ignacio, secretario de la Academia, le comenta el mal tiempo que hizo los primeros días del mes de octubre, impidiéndole iniciar las mediciones topográficas con la plancheta para la realización del plano general de la Alhambra. No es difícil pensar que el uso que Hermosilla hace de la plancheta derive de su formación militar, donde era habitual el uso de este instrumento topográfico.

Otro militar español que sabemos que hizo uso de la plancheta en sus levantamientos, en este caso arqueológicos, fue Joaquín de Alcubierre, cuando era director, a partir de 1738, de las excavaciones de Pompeya y Herculano por encargo del futuro Carlos III. Se trata en cualquiera de los levantamientos de planos topográficos generales, planos de situación de conjuntos arquitectónicos.

Si ahora volvemos a la Alhambra, pero no a la campaña de levantamientos de Hermosilla sino a los que noventa años después, en 1856, llevarían a cabo los estudiantes de arquitectura formando parte del proyecto más amplio de los Monumentos Arquitectónicos de España, debemos pensar que como en las restantes campañas de levantamiento, que sabemos que empleaban por los presupuestos de los viajes, se valieron para sus mediciones de andamiajes de madera tendidos sobre las fachadas de los edificios.

No obstante de estas campañas hay que destacar la innovación tecnológica que supone la incorporación de la fotografía en la documentación de la arquitectura.

La campaña que tuvo como objetivo Salamanca, llevada a cabo en 1853, contó con un presupuesto complementario destinado a la reproducción fotográfica de los monumentos a cargo de Charles Clifford, y la de la Alhambra con la aportación fotográfica de Eduardo García, que no debió de resultar plenamente satisfactoria pues se le encomendó un viaje a París para realizar algo así como un curso de perfeccionamiento en el incipiente arte de la fotografía, que llevó a cabo a finales de ese mismo año desde donde envió diversas fotografías que daban fe de sus progresos.

De este episodio hay que subrayar no lo mal fotógrafo que era Eduardo García sino el interés que despertaba la fotografía en la documentación de la arquitectura, tanto como para enviarle a París para que se formase.

No obstante, sin restar importancia al papel fundamental que desempeña la fotografía en la documentación gráfica de la arquitectura, su aportación específica al levantamiento arquitectónico ha sido la fotogrametría como técnica para dar coordenadas a puntos, y cuyos orígenes se ha dicho que son anteriores a la misma fotografía, citándose por este motivo al hidrógrafo francés Beautemps Beaupre y al suizo Moritz Antón Cappelier.

Incluso el trabajo que tradicionalmente ha servido para referirse al primer levantamiento fotogramétrico se realizó con unas vistas obtenidas con una cámara clara, no con fotografías. Se trata del conocido levantamiento del castillo de Vincennes, cerca de París, llevado a cabo por el capitán de ingenieros francés Aime Laussedat hacia 1850. El dibujo que sintetiza el procedimiento seguido ilustra con claridad el método fotogramétrico, que en su estructura general permanece sin alterarse hasta la actualidad. Parte de entender que una fotografía es una proyección cónica de manera que los puntos de una imagen están indefinidos espacialmente por ser la proyección del punto concreto pero también de cualquier otro situado sobre el mismo rayo de proyección. Para solucionar esta indefinición recurre a dos fotografías, de manera que si un punto aparece en dos deberá de estar sobre los rayos de proyección que definen y por tanto en su intersección.

Para que se produzca la intersección de los rayos las dos fotos y los centros de proyección deben estar situadas en la misma posición relativa con la que fueron tomadas, o lo que es lo mismo las fotografías deben de estar orientadas. Se definen de este modo los tres pasos fundamentales del método fotogramétrico: toma fotográfica, reconstrucción de la geometría de la toma u orientación e identificación de puntos homólogos.

Este procedimiento es el llamado de las intersecciones y fue el que se empleó en el siglo XIX pues si bien también se usaba la barra de paralaje para dar coordenadas a puntos aislados, el estereógrafo de Pulrich, que permite hacerlo de forma sistemática, no apareció hasta principios del siglo XX; en cambio la fotogrametría del siglo XX es la estereoscópica, en la que la identificación de puntos homólogos se realiza a partir de la visión estereoscópica. Se desarrolló a lo largo del siglo, y pasando por los restituidores analógicos, analíticos y digitales llega hasta nuestros días.

Sin embargo en los últimos años ha resurgido con gran auge la fotogrametría basada en el método de las intersecciones implementada en un ordenador

En cualquiera de los dos casos la reconstrucción de la geometría de la toma, o lo que es lo mismo la orientación de las fotografías, se realiza analíticamente mediante el uso del ordenador, muy lejos de las dificultades del pasado, y del mismo modo la calibración de las cámaras, que antes se llevaba a cabo por laboratorios especializados, ahora se ha simplificado y consiste básicamente en sacar una fotos a una trama patrón y emplear el correspondiente programa de calibración.

La diferencia radica fundamentalmente en el procedimiento de identificación de puntos homólogos: en un caso se realiza manualmente, sobre las imágenes de la

pantalla de un ordenador, lo que supone tan solo aprender a manejar el programa correspondiente, y en el otro, además, hay que adiestrarse a moverse en el espacio estereoscopio y llegar a posarse con agilidad y precisión.

Finalmente la estereoscópica emplea pares de fotos que para lograr una visión espacial tienen que ser de ejes sensiblemente paralelos, lo que supone con frecuencia una verdadera limitación, que no tiene el otro método y que por tanto es mas versátil. Sucede además que en la primera un punto queda definido por la intersección de dos rayos mientras que en la segunda por tantos rayos como en fotos aparezca, lo que se traduce en precisión.

Dentro del ámbito de la fotogrametría también se deben de considerar aquellos sistemas que emplean una sola fotografía, o sistemas monofotos, y que aprovechan, además, datos conocidos del objeto fotografiado, como es la restitución perspectiva y la rectificación. Los sistemas de rectificación, o programas de rectificación, suelen hacerlo de imágenes digitales, como Photoshop o el mas versátil ASRlx, pero mas cercano a nosotros tenemos el Homograf que transforma dibujos de AutoCad. Estos programas se emplean habitualmente cuando se trata de temas de levantamiento relacionados con el análisis estratigráfico de paramentos.

Hasta hace apenas diez años la fotogrametría estereoscópica era básicamente el único procedimiento empleado para dar coordenadas a puntos inaccesibles. Sin embargo la situación cambió notablemente con la aparición y desarrollo de la medición electrónica de distancia, que tiene su origen en los trabajos del topógrafo sueco Eric Bergstrand realizados a mediados del siglo pasado para medir la velocidad de la luz y a partir de los cuales diseño un instrumento comercializado en 1957 que denomino Geodimeter. Era un instrumento voluminoso que se empleaba para la medida de bases topográficas. Requería de un espejo situado en uno de los extremos de la distancia a medir para que devolviese la onda emitida por el instrumento estacionado en el otro.

En los años setenta del siglo pasado el tamaño de los instrumentos de medición electrónica de distancia se redujo notablemente, pasaron a denominarse distanciómetros, y comenzaron a montarse sobre teodolitos tradicionales; primeramente en excéntrica y a finales de los setenta aparecen coaxiales en las hoy denominadas estaciones semitotales, en las que los ángulos y las distancias se leían en el instrumento y se anotaban en un estadillo tradicional.

Poco después se produce la aparición de los sistemas electrónicos de medición de ángulos y casi a la vez la de los colectores de datos pasando a la concepción de las modernas estaciones totales que miden ángulos y distancias y almacenan las coordenadas de los puntos en memoria que, ya en gabinete, se vuelcan al ordenador donde pueden ser leídos por los programas habituales de dibujo.

Las estaciones totales tradicionales emplean un rayo infrarrojo para medir la distancia y requieren de un espejo o conjunto de espejos que refleje la señal, denominado prisma de reflexión o simplemente prisma, aunque habitualmente es una pirámide cóncava de espejos.

Estas estaciones totales han tenido y siguen teniendo un gran éxito en el campo de la topografía ya que montado el prisma sobre un bastón o báculo permiten determinar con comodidad las coordenadas de los puntos del suelo.

Hace apenas diez años comenzaron a comercializarse los denominados distanciómetros láser que emplean un rayo láser, en vez de un infrarrojo, y que no requieren de un prisma reflector para medir distancias, aunque su alcance es menor. Los primeros distanciómetros láser eran manuales y poco después se montaron en estaciones totales.

Los distanciómetros láser manuales emplean un rayo de luz visible que como un puntero óptico señalan el punto al que se mide, mientras que en las estaciones totales láser lo ortodoxo es visar con el anteojo para dar coordenadas a un punto.

La estación láser es un instrumento propio y característico del levantamiento arquitectónico, mas incluso que del levantamiento topográfico que requiere habitualmente del báculo para dar coordenadas a puntos del terreno a los que necesariamente hay que acceder. La indudable ventaja de la estación láser es que permite dar coordenadas a puntos inaccesibles, lo que sabemos que es muy frecuente en el levantamiento de arquitectura.

Lo habitual es hacer mas de una toma de datos para completar el modelo, siendo entonces necesario enlazar las diferentes tomas, requiriendo de algunos cálculos para hacerlo con precisión.

En el levantamiento arquitectónico con estación láser no es frecuente definir puntos aislados sino conjuntos de puntos que en su totalidad definan elementos característicos y que se reconozcan con facilidad, en algunos casos contemplados tan solo desde una proyección determinada. Hay un caso específico en el que se dan coordenadas a puntos concretos y definidos que es en el levantamiento de obras de fábrica cuando se desea definir el despiece y analizar el aparejo.

Todo ello ha llevado a emplear el termino láser-grafía para referirse a la técnica de levantamiento con estación láser por el doble motivo de que se repasan, se dibujan, los elementos significativos y a la vez se repite el proceso de análisis simplificación y síntesis característico del dibujo de levantamiento.

El siguiente paso en la evolución de las estaciones láser ha sido motorizarlas, lo que permite barrer recintos de manera automática y una aplicación inmediata es la obtención de perfiles y secciones sin la tediosa operación de cabecear o rotar el ocular.

Las estaciones láser motorizadas podemos verlas como el antecedente de los modernos escáneres tridimensionales, que en escasos minutos obtienen las coordenadas de millones de puntos. En la actualidad, en relación con el levantamiento arquitectónico, se comercializan dos tipos de escáneres, los de corto y largo alcance. En los primeros la precisión en las coordenadas de un punto puede ser inferior al milímetro, sin embargo su alcance no supera algunos metros

ni la ventana de escaneado el metro cuadrado. Los de corto alcance se desarrollaron y comercializaron en el campo de la ingeniería del automóvil, aeronáutica y naval desde hace más de diez años, y en el ámbito de la arquitectura se emplean en el levantamiento de detalles como capiteles o elementos escultóricos.

Los escáneres habitualmente empleados en el levantamiento de arquitectura son de medio y largo alcance, cuyo radio de medida se sitúa entorno a los 300 m o llega hasta a los 700, y se empezaron a comercializar hace 6 o 7 años. Llegan a registrar las coordenadas de 2 millones de puntos en cuatro minutos y además miden la intensidad de la onda de retorno, lo que proporciona datos útiles para el reconocimiento de materiales, y suelen estar provistos de un sistema fotográfico, que hace las tomas durante el proceso escaneado, y que permite asignar a cada punto el color que tiene en la fotografía.

La nube de puntos que se obtiene puede ser transformada, en modo semiautomático o automático, en una superficie poliédrica haciendo más fácil la elaboración de los datos. Dos son los datos finales que habitualmente se piden a las nubes de puntos trianguladas: el mapeado de fotos y la obtención de secciones. Entre las distintas aplicaciones que ofrece el mapeado, una de las que más interesa en el ámbito del levantamiento arquitectónico es la de obtener verdaderas ortofotos ya que se trabaja con un modelo digital que coincide, prácticamente, en su geometría con la del objeto, si no ha sufrido simplificaciones.

Al seccionar la malla triangulada podemos obtener propiamente secciones, si cortamos por planos verticales, o plantas si los planos son horizontales.

A pesar de las facilidades que ofrece el sistema de escaneado para la obtención de los documentos habituales del levantamiento arquitectónico, plantas alzado y secciones, distintos autores han señalado que este tipo de levantamiento nos induce hacia una representación más similar a la fotografía que a un dibujo.

Y efectivamente si no fijamos en los recientes trabajos realizado mediante escaneado los levantamientos se reducen a imágenes fotográficas, desapareciendo el dibujo. Y no necesitamos ir muy lejos, es suficiente con fijarnos en los que han sido presentados en los últimos congresos.