

---

# El levantamiento planimétrico de la ciudad.

## De la edad media al renacimiento

Federico Arévalo Rodríguez  
Universidad de Sevilla  
farevalo@us.es

### EL DIBUJO DEL TERRITORIO EN LA EDAD MEDIA

En contraposición a la idea extendida de una Edad Media desprovista de cualquier conocimiento geométrico y de la que se infiere que el Renacimiento surge de la nada y cuya única mirada se dirige al pasado clásico, el análisis del dibujo medieval permite esbozar un escenario donde no todos los conocimientos matemáticos y geométricos estaban del todo perdidos. Para ello es necesario estudiar la evolución de la representación gráfica arquitectónica desde la Edad Media al Renacimiento.

La dificultad para expresar gráficamente la planta de ciudad y de la arquitectura en época medieval se contrapone con el desarrollo del levantamiento en época del imperio romano. Prueba de ello es la conocida *Forma Urbis Romae* (VV.AA., 1960; Rodríguez Almeida, 1980), también denominada como forma *Severiana* o *Severina* por haber sido realizado en la época de Septimio Severo (hacia 203-211 d.C.) que representaba a escala los edificios públicos de la Roma imperial, pero que no fue descubierta hasta 1562, cuando los sistemas de levantamientos que más adelante vamos a explicar estaban siendo ya utilizados desde un siglo antes (Arévalo, 2003). Sin embargo, en el mundo medieval se desvaneció el papel de los gromáticos, funcionarios estatales que desempeñaban las funciones de medición y levantamiento del terreno. A pesar de todo, el saber arquitectónico de la Alta Edad Media siguió bebiendo de las fuentes clásicas, y si bien la actividad teórica no se cultivó apenas, en los siglos v y vi el *Corpus Agrimensorum Romanorum* (Docci y Maestri, 1987; Docci y Cigola, 1995) estaba plenamente constituido. La fuerte esquematización de la topografía que nos ha llegado no debe implicar el desconocimiento de las operaciones necesarias para el levantamiento arquitectónico.

A partir de la obra de Panofski, es irrefutable la idea de una vuelta a la antigüedad que se produjo previamente al Renacimiento (Panofski, 1985). La búsqueda de los valores perdidos del mundo clásico aparece en no pocos testimonios de la época. Como va-

rios siglos más tarde volvería a acontecer, Vitruvio parecía ser la clave del conocimiento arquitectónico. Contrariamente a lo que muchos textos indican sobre el desconocimiento de Vitruvio en época medieval, su obra era conocida, si bien fue redescubierta en la época moderna por el interés que despertaban los problemas de la antigüedad clásica (Cervera, 1978). Existen diversos manuscritos que demuestran, que aunque sólo fuese en el ámbito de los grandes monasterios medievales, el recuerdo y el estudio de la obra vitruviana no se extinguió del todo durante esta época.

En época medieval, la representación gráfica de la ciudad y el territorio está teñida de una fuerte carga simbólica, influida claramente por el ambiente religioso preponderante, en el que es más importante el mensaje que mostrar la realidad. Sin embargo, a pesar de su simbolismo, muchos de los modelos tipológicos vigentes en la representación territorial en la Edad Media marcarán en el Renacimiento algunos de los métodos de levantamiento. Uno de esos modelos fue el plano circular.

El simbolismo en la representación urbana y territorial en época medieval alcanza su mayor grado en los denominados mapas «T» en «O», nombre con el que se denominan los casi seiscientos mapamundis circulares, en los que las iniciales de *Orbis Terrarum* pasan a ser elementos fundamentales en la definición del dibujo. Olvidada la síntesis de Ptolomeo, se vuelve a considerar al mundo como un disco flotando en el océano y desaparece el sistema de medición por coordenadas mediante meridianos y paralelos. Estos mapas representan la Tierra como un disco plano que comprendía los tres continentes conocidos rodeados por un océano circular, siendo probable que el origen de este tipo de plano se encuentre en las *Etimologías* de San Isidoro de Sevilla.

Como contrapunto al vacío científico del occidente medieval, así como a la desmesurada influencia teológica en la representación cartográfica, el mundo árabe, a medio camino entre Grecia y Oriente, se convirtió en el continuador del desarrollo científico interrumpido en Europa. El movimiento traductor de los textos griegos, así como el conocimiento de las teorías astronómicas hindúes, permitieron la realización de cálculos astronómicos y la elaboración de cartas geográficas inalcanzables en el horizonte cristiano. La cartografía islámica, conocedora de la Geografía de Ptolomeo, que gracias a su traducción en el siglo IX pudo preservar la memoria de su concepción del mundo, llegó a su más alta cima con autores como Al-Idrissi. Geógrafo y matemático, no sólo proporcionó un excelente nivel a la escuela cartográfica de Palermo, sino que en 1154 trazó un mapamundi acompañado de setenta mapas locales, en los que se compendia los conocimientos geográficos de musulmanes y cristianos.

En esta época se produce un gran desarrollo en el estudio de las matemáticas, la geometría y la astronomía por parte del mundo islámico, que en un breve espacio de tiempo se había extendido por toda la cuenca del Mediterráneo. En el siglo IX, la cultura árabe es capaz de calcular la dimensión de la tierra y la posición relativa de un punto sobre la misma.

Los textos griegos traducidos de fuentes árabes versaban en su mayoría sobre temas científicos y matemáticos, siendo de vital importancia para el desarrollo de estudios posteriores y sirviendo de base sobre la que apoyar gran parte de la geometría que veremos en el Renacimiento, pues no en vano sustentan la teoría necesaria para abordar los problemas fundamentales de materias tan importantes como la agrimensura o la astronomía.

Los mapamundi medievales, con su carga de teología y mitología, unida al fuerte grado de abstracción, difícilmente podrían servir de ayuda para la navegación. Por otro lado, el establecimiento de relaciones comerciales cada vez más intensas, hacía necesario el desarrollo de un tipo de plano en el que se incluyesen notas personales sobre trayectos entre puerto y puerto, junto a observaciones sobre astronomía y reconocimientos de costas, que recibió el nombre de «cartas portulanas», herederos de la tradición clásica del llamado *periplus*, que era un texto escrito con descripciones del viaje y de las direcciones de la navegación. La introducción del uso de la brújula en el Mediterráneo a finales del XIII, usada desde hacía tiempo en Oriente, así como del astrolabio, permitió la realización de cartas cuyas indicaciones contaban con una precisión cada vez mayor, convirtiéndose así en «libros de derrota» en los que se detallaban los rumbos y las distancias.

## REPRESENTACIÓN DE LA ARQUITECTURA EN ÉPOCA MEDIEVAL

Muy extendida se encuentra la convicción de la mala factura de los dibujos medievales de arquitectura, probablemente influenciada por el desprecio formulado en su momento por Vasari hacia el sistema de representación gótico (Vasari, 1998; Gentil, 1994). Como se intentará demostrar, dentro del sistema gremial del gótico se llegó a una pericia gráfica que se apoyaba en la capacidad de expresar el espacio mediante la relación de dos proyecciones ortogonales, lo cual paradójicamente tardó en ser asimilado por el dibujo de arquitectura renacentista.

Prueba de que los conocimientos fundamentales del período clásico no se habían perdido es la planta de un monasterio ideal encontrado en la biblioteca capitular del Monasterio de Saint Gall en Suiza, realizada aproximadamente en el 820 por autor desconocido. En ella están representadas todas las divisiones de los espacios mediante líneas sencillas, sin diferenciar casi nunca grosores de muros. Como sucede en la planta de Canterbury de 1167, aunque se trate de plantas, en algunas zonas aparecen dibujados esquemáticamente elementos importantes de las fachadas que se abaten para una mejor comprensión.

Por lo que respecta a los alzados, deben destacarse los de la conocida serie de Estrasburgo y los palimpsestos de Reims, ambos realizados en el siglo XIII y demostración

fehaciente del dominio de la proyección ortogonal en toda su plenitud. En siglos sucesivos, la relación de planos que se conserva es inmensa, siendo algunos de ellos muy conocidos, como sucede con los detalles de alzado de las catedrales de Barcelona y de Ratisbona. Queda así demostrada la desenvoltura con la que el dibujante medieval se enfrentaba a la representación de las fachadas en proyección ortogonal, en clara contraposición al dibujo de la planta, que no dejaba de ser una abstracción más complicada de entender que el alzado. Ello se debía a la estructura gremial vigente en la construcción medieval, que ejercía un control coercitivo sobre la expansión de los conocimientos gráficos. La realización de plantas supone una abstracción que no está al alcance de los operarios, pudiéndose detectar una interesante desproporción entre el número de plantas conservadas y los alzados.

Los problemas de la proporcionalidad eran conocidos en época medieval y consistían en soluciones inherentes a los instrumentos de control gráfico, basados en la *geometría fabrorum*, la cual permitía controlar la totalidad de los elementos y detalles constructivos mediante fórmulas basadas en construcciones geométricas sencillas (Ruiz de la Rosa, 1987). La realización de estructuras cada vez más complejas en la arquitectura gótica implicó la necesidad de un dibujo cada vez más preciso, por lo que es posible suponer que gran parte de las edificaciones importantes de la época debieron contar con planos más o menos fiables. Planos a escala, replanteos y monteas (Gentil, 1982; Palacios, 1990) se convertirán en elementos insustituibles en cualquier obra gótica de cierta envergadura, exigiendo para el correcto desarrollo de la construcción un elevado grado de exactitud. Esta es la razón por la que es posible considerar la Edad Media como la etapa de formación de la representación ortogonal (Palacios, 1990).

Sin embargo, cabría preguntarse cuál es la causa por la que los conocimientos adquiridos sobre el dibujo de arquitectura se difundieran tan escasamente, hasta el punto de que muchos conocimientos básicos, como generar una planta y extraer de ella su alzado, no fueron recuperados hasta bien entrado el Renacimiento. Fundamentalmente destacan dos causas: la estructura gremial de trabajo y el concepto que de «tratado» se tenía en la Edad Media. El «secreto de las catedrales» o el «perpetuo silencio», como lo denominase varios siglos más tarde Martínez de Aranda, tiene su origen precisamente en la estructura gremial del gótico, entre cuyas funciones específicas cabe citar la defensa corporativa de los intereses, que consistía entre otras cuestiones en la obligación de no divulgar los conocimientos específicos del trabajo fuera del ámbito del gremio.

### **METODOS PARA LA OBTENCIÓN DE MEDIDAS. DEL CUADERNO DE HONNECOURT A ALBERTI**

Como excepción a la escasa transmisión de conocimientos a través de tratados medievales, resulta especialmente importante el *Cuaderno* de Villard de Honnecourt, que

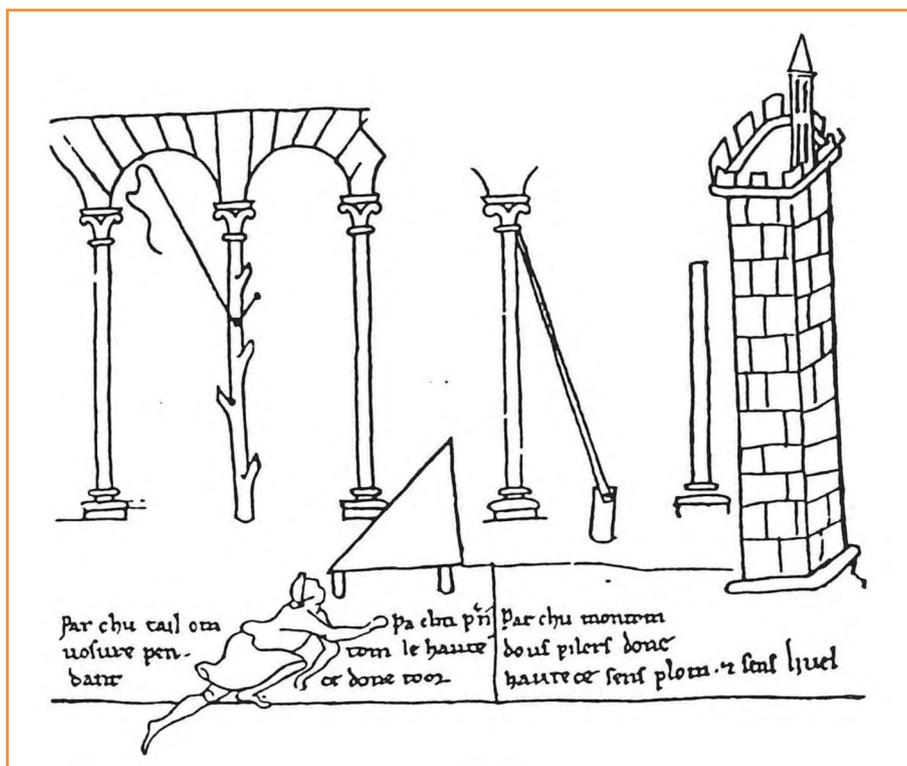


Figura 1. Villard de Honnecourt. *Cuaderno*. Biblioteca Nacional de París, nº 19.093, f 20 v. (VV.AA. 1991, lam. 39).

fue un maestro de obras del siglo XIII (Villard, 1991). Entre sus dibujos, nos interesan especialmente un conjunto de métodos para la obtención de medidas, basados en la proporcionalidad de triángulos según los enunciados de Euclides. Permiten obtener distancias y alturas de manera aislada, y deben ser utilizados como auxiliares de otros métodos más completos de levantamiento.

En el folio 20 del citado cuaderno se explica el método titulado «De este modo se calcula el ancho de un curso de agua sin atravesarlo». El método se basa en la construcción de triángulos semejantes mediante el uso de un instrumento simple que consta de dos miras móviles o alidadas. Una vez tomado el ángulo que forman las dos alidadas, el conjunto se puede reconstruir en un lugar adecuado, o bien, hallar el resultado mediante la teoría de triángulos semejantes.

Uno de los ejemplos que más pueden interesar para la evolución posterior del levantamiento es el incluido en el folio 20 v que se denomina «De este modo se mide la altura de una torre». Villard se sirve aquí de la teoría de triángulos rectángulos semejantes, uno de los cuales se sustituye por una escuadra de medidas conocidas (figura 1).

A mediados del siglo xv, la teoría de la arquitectura necesitaba como soporte físico para su desarrollo los mecanismos para realizar el dibujo en planta de la ciudad. Sin embargo, el humanismo se encontraba totalmente desprovisto de antecedentes, pues ya se ha mencionado que la *Forma Urbis* de época romana no se descubrió hasta el siglo siguiente, por lo que dibujar la planta de Roma podía suponer a primera vista una novedad complejísima. Sin embargo, anteriormente a los trabajos de Leon Battista Alberti en el campo del levantamiento urbano, existía un corpus que él mismo había recopilado en su obra *Ludi Matematici* (Vagnetti, 1968; Alonso, 1996; Arévalo 2003), cuya fecha de redacción podría situarse en torno a 1451. Este tratado se refiere especialmente a sistemas de obtención de medidas basados en operaciones geométricas ante la imposibilidad de calcularlas directamente.

Los ejemplos matemáticos expuestos por Alberti han sido considerados por muchos estudiosos como una innovación propia de los grandes genios del Renacimiento, sin reparar en que realmente *Ludi Matematici* consiste en una recopilación de saberes que pertenecían al acervo «científico» del final de la Edad Media, y al que un humanista como Alberti no podía lógicamente volver la espalda. Esta afirmación no deja de ser un secreto expresado a voces por el propio Alberti, quien en cada pasaje indica las fuentes en las que se ha basado, unas veces denominándolas de manera genérica como «scriptore antiqui» y otras señalando textualmente a diversos autores como Columella, Savosarda y Pisano.

Alberti debía conocer sin duda las técnicas de agrimensura romanas con las que podía medirse un campo. Parece arriesgado afirmar que Alberti conociera el *Cuaderno* de Villard de Honnecourt. Cualquier posible parecido se debe a la utilización de fuentes y conocimientos comunes, especialmente, los procedentes de la cultura griega, donde Tales y Euclides jugaron un papel significativo. No debemos dejar de considerar la extraordinaria coincidencia entre algunos de los ejemplos expuestos por Alberti y los descritos dos siglos antes por Villard. Esto sucede en el párrafo quinto de *Ludi Matematici*, que trata el modo de obtener una medida no accesible, que es muy similar al ya descrito por Villard en su folio 20. La misma circunstancia podría ser mencionada respecto a la forma de obtener la altura de una torre, lo que también es tratado por Villard.

En el primer problema expuesto por Alberti, titulado *Del modo di misurare l'altezza de una torre da un luogo discosto, ma che si veda*, el autor explica la obtención de la altura de una torre visible, pero no accesible (figura 2). El caso expuesto establece una relación entre segmentos paralelos, utilizando para ello el teorema de Tales. Por lo que respecta al segundo problema, denominado *Come possa mai misurarsi l'altezza d una torre da un luogo discosto, ma que di quella si veda la cima*, Alberti plantea la obtención de la altura de un elemento del que sólo se ve su parte más alta, pero del que se conoce la distancia desde el punto de observación hasta él. El problema se resuelve estableciendo una relación entre catetos semejantes. A continuación Alberti ofrece va-

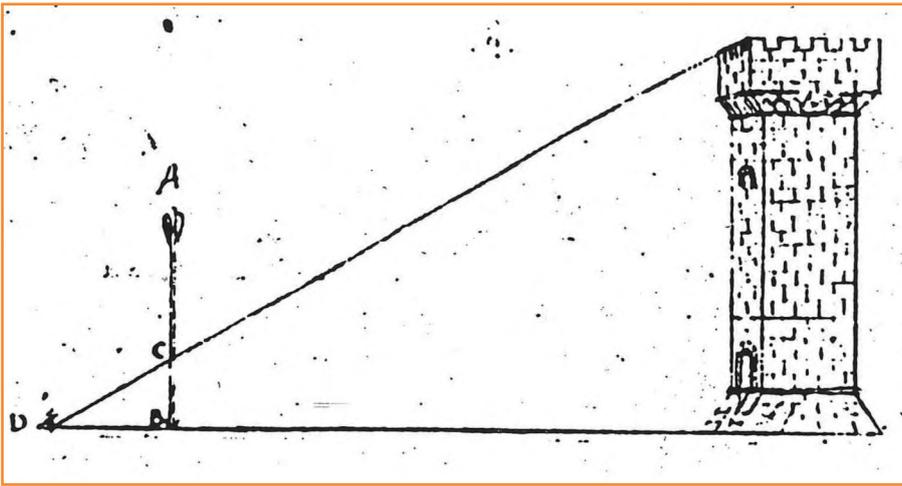


Figura 2. Leon Battista Alberti. *Ludi Matematici*. Códice 3.056 de Rouen. (Vagnetti, 1972 p 194).

riantes del método anterior para obtener la altura de un elemento del que igualmente se conoce la distancia a la que se encuentra. La primera de las posibilidades se apoya en la razón de un triángulo rectángulo con dos ángulos de  $45^\circ$ , en el que sus dos catetos son iguales. Conocida la distancia horizontal al elemento del que se pretende conocer la altura, y una vez colocado el triángulo de manera que la hipotenusa del mismo enfila su punto más alto, se habrá obtenido la altura deseada. Como ya se ha comentado anteriormente, éste es el método descrito gráficamente por Villard de Honnecourt.

El quinto problema se llama *Come posse misurarsi il largo di un fiume di su la sponda* y pretende resolver la obtención de una medida de una distancia imposible de medir en horizontal debido a la existencia de un obstáculo que lo impide, como puede ser el cauce de un río. Alberti vuelve a ser poco original, pues Villard ya había expuesto el mismo problema con anterioridad, aunque con el uso de reglas móviles. El problema se resuelve en *Ludi Matematici* de dos maneras. La única diferencia entre ambas consiste en que la segunda opción propone el establecimiento de una relación de simetría con la que el conjunto podría replantearse en una zona accesible, sin necesidad de establecer la relación de similitud propuesta en el primero de ellos, con lo que la medida se obtendría sin necesidad de ningún cálculo matemático.

En el ejemplo de *Come si giunga a sapere quanto sia alta una torre di cui solo apparisce la cima*, se explica el cálculo de la altura de una torre incluye la dificultad añadida sobre los anteriores de no conocer la distancia hasta el elemento que se ha de medir, ni de poder apreciarlo en su totalidad. A diferencia de los casos anteriores, es necesario tomar medidas desde dos puntos distintos para de esta forma poder establecer de nuevo una semejanza de triángulos.

De todos los métodos expuestos en *Ludi Mathematici*, para el tema del levantamiento es fundamental el problema XVI: *Modo de misurare il circuito o ambito de una terra* (Arévalo, 1996). En él se explica el método geométrico con el que realizar el levantamiento de un terreno, no muy distante de la concepción actual usada para la realización de planos topográficos. El método aquí indicado es de vital importancia para el levantamiento planimétrico, siendo el propio autor quien en *De Re Aedificatoria* se refiere a un círculo graduado con el que es posible el levantamiento de ciudades y regiones para obtener su planta.

El método referido utiliza un instrumento con el que poder medir ángulos, una especie de goniómetro horizontal de fácil fabricación del que Alberti afirma ser su inventor. Inspirado en los círculos graduados que ya se dibujaban en la antigüedad, el autor propone la realización de un círculo dividido en 48 partes o grados, estando cada uno de éstos divididos a su vez en 4 minutos. Este círculo se utiliza a manera de mira desde la cual se toma el ángulo que existe desde una primera estación donde se coloca el círculo a otra segunda, de la que, si bien no lo expresa el texto explícitamente, es necesario conocer la distancia a la primera. Si esta operación se repite una vez más, se podrá llevar a cabo una triangulación con la que situar con exactitud los tres puntos en cuestión, desde los cuales se podrían realizar cuantas triangulaciones fuesen necesarias a otros puntos.

La afirmación de que al menos es necesario el conocimiento de una distancia entre alguna de las estaciones es evidente, pues de no ser así el problema quedaría indeterminado. Tal suposición queda confirmada en una ilustración incluida en el Códice Génova, en la cual se aprecia una cota de 24 unidades entre dos de las bases (figura 3). Por lo que se refiere al proceso de pasar las medidas obtenidas al dibujo, el texto no deja lugar a dudas. Alberti indica que en el centro del gráfico que se pretende realizar, se colocará un pequeño papel en el que previamente se ha dibujado un círculo a semejanza de aquel con el que se tomaron las medidas. Sobre esta plantilla se podrán ir tomando las direcciones de cada uno de los puntos en cuestión. Para pasar el levantamiento a un plano a escala, se sitúan sobre el papel las otras dos estaciones utilizadas, pudiendo reproducir así todas las triangulaciones realizadas durante el levantamiento, de tal manera que con cada una de ellas se van obteniendo puntos con total seguridad (Arévalo, 2003).

En cuanto a los instrumentos usados en el levantamiento, uno de los más importantes es el astrolabio, (Viladrich, 1985), pues de él derivarán posteriormente otros que simplifican su funcionamiento. Inicialmente utilizado para cálculos astronómicos en la navegación, será el cuadrado de sombras incluido en el dorso del astrolabio el que permitirá una simplificación extraordinaria en el cálculo, pues facilitará la obtención de los ángulos al funcionar como una calculadora trigonométrica. El interés por este ins-

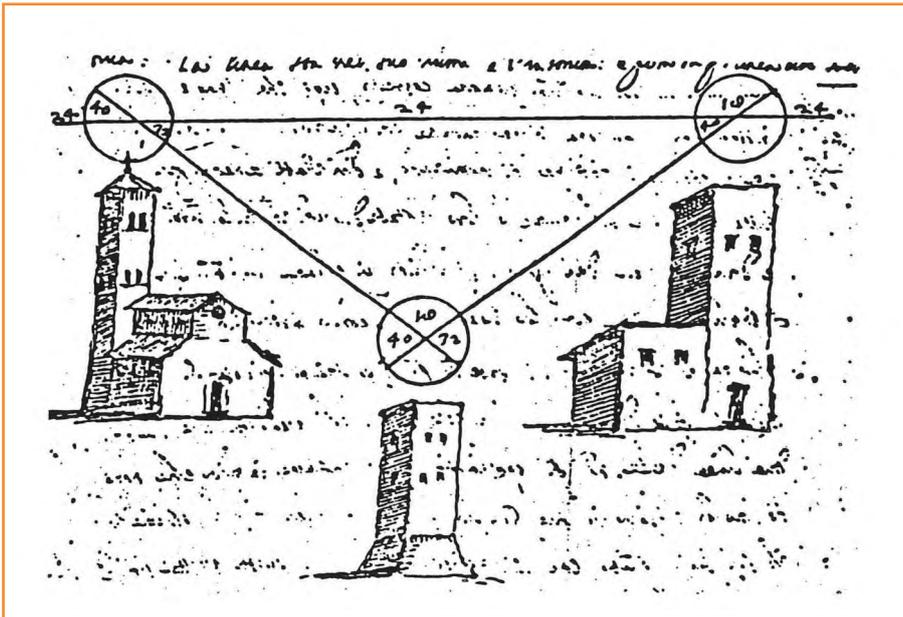


Figura 3. Leon Battista Alberti. *Ludi Matematici*. Códice Genova G. IV 29 (Arévalo 2003).

trumento es evidente entre los arquitectos renacentistas, como lo demuestra el dibujo de un astrolabio dibujado por Antonio da Sangallo el Joven conservado en el *Gabinetto Disegni e stampe degli Uffizi* de Florencia, que se corresponde con el faz y el dorso. Una aplicación de este instrumento es el cálculo de la distancia a un punto inaccesible que aparece en el tratado escrito por Juan de Rojas en 1551 sobre este instrumento. Entre los instrumentos que evolucionan a partir de la escala de sombras del astrolabio, cabe destacar el cuadrado geométrico, el cuadrante de círculo y la escala altimétrica.

### MÉTODO DE TRIANGULACIÓN USADO EN LA FORMA URBIS ROMAE Y SU CONTINUACIÓN EN LOS LEVANTAMIENTOS DE SANGALLO Y BARTOLI PARA FLORENCIA

La *Descriptio Urbis Romae* es una obra poco conocida de Leon Battista Alberti consistente en un sistema de representación ideado por él para el levantamiento de la ciudad de Roma (Arévalo, 1996), posiblemente realizado entre 1443 y 1448, cuya principal novedad consiste en el uso del método de levantamiento por radiación. Este documento llega a nuestros días a través de cuatro transcripciones de otros tantos códices. En todos los casos, junto a la descripción del método utilizado, aparecen unas tablas en las que quedan expresadas las coordenadas polares de los puntos medidos por Alberti, con las que se puede reconstruir el hipotético dibujo del levantamiento de

la *Descriptio*, hoy desaparecido. Este es el motivo por el que todos los autores que han tratado el tema interpretan equivocadamente que se trata de un levantamiento por coordenadas polares.

No han faltado estudios que teorizan sobre un levantamiento tridimensional de los diferentes elementos nombrados por Alberti en las tablas anexas a la *Descriptio*. Entre estos se encuentran De Rossi y Rocchi, para los que, equivocadamente, el dibujo obtenido a partir de las medidas realizadas no puede ser otra cosa que una perspectiva. Una de las reconstrucciones más cuidada es la desarrollada por Vagnetti a partir de la puesta en común de los datos incluidos en las tablas de los cuatro códices conocidos. El resultado es una planta que se compara con el plano de Roma obtenido por medios modernos, evidenciando así los fallos inducidos por el método albertiano, que si bien en algunos puntos son significativos, pueden ser debidos a que no todos los puntos de la muralla o del río podrían ser fácilmente visibles desde las estaciones elegidas para la toma de datos.

El método desarrollado por Alberti consiste en colocar en un lugar céntrico y alto de Roma como es el Capitolio, una base desde la que tomar diversas medidas. Para ello, hace referencia al círculo dividido en 48 partes llamadas grados, que ya había utilizado en *Ludi Matematici*, el cual, una vez situado sobre una base plana, sirve a modo de mira desde la que se van anotando los ángulos que forman cada uno de los puntos que se pretenden dibujar. Si bien no se hace mención al uso de tres puntos desde los que triangular, el sistema debe considerarse una aplicación del método indicado en *Ludi Matematici*, pues desde un único punto sería muy inexacto tomar las distancias reales a puntos lejanos, ya que serían necesarios los métodos indirectos descritos en *Ludi Matematici* para la obtención de medidas a puntos inaccesibles.

A diferencia del método indicado en *Ludi Matematici*, Alberti introduce aquí una nueva medida: el radio. Ésta es la distancia entre el centro del círculo y el elemento que se pretende medir, tomado en la dirección señalada por el instrumento, aunque como ya se ha indicado, esta medida radial se tomaba sobre el plano ya dibujado y no durante el levantamiento, posiblemente con la intención de modificar la escala del plano ya obtenido. Por tanto, el método de levantamiento utilizado en la *Descriptio* no se basa en la búsqueda de unas coordenadas polares desde un único punto a partir de las cuales se obtiene un dibujo en planta. Puede ser todo lo contrario: a partir de dos o más puntos cuya distancia entre sí es conocida, se procede a tomar los ángulos al elemento que se pretende representar. Una vez realizada la triangulación, sería posible obtener la planta sobre un plano en el que se dibujaría una circunferencia en la que también estarían señalados los tres puntos base con sus correspondientes circunferencias graduadas sobre las que se tomarían las alineaciones correspondientes a cada punto medido (Arévalo, 2003).

Esta hipótesis sobre el levantamiento de Roma por parte de Alberti queda contrastada con un conjunto de planos de la ciudad de Florencia realizados por el equipo de Antonio da Sangallo el Joven en torno a 1526 y conservados en el *Gabinetto Disegni e Stampe degli Uffizi* de Florencia. Con este propósito, no dudó en utilizar el método sugerido por Alberti en su levantamiento de Roma, y a partir de varios puntos, se dedicó a establecer una serie de alineaciones a hitos reconocibles en la ciudad y fuera de la misma. Los cinco dibujos conservados de la serie de levantamientos realizados por Sangallo han podido ser individualizados en cuanto al punto central elegido para el establecimiento de las alineaciones.

En los dibujos U 771A r. y U 771A v., el punto central elegido para el dibujo fue la cúpula de Santa María del Fiore (Bencivenni, 1982). Sin embargo, no todos los elementos importantes de la ciudad son visibles desde este lugar, por lo que es necesaria la radiación desde otros puntos, que permitan así mismo una adecuada triangulación que ofrezca un elevado grado de exactitud. Es posible deducir el método desarrollado en el levantamiento a partir de la obtención de la transcripción de los textos incluidos en el primer dibujo indicado. En todo momento se establece la medida angular desde el vértice de la radiación hasta el punto que se mide, pero en vez de hacerlo sobre un círculo graduado en 48 grados, como era el caso de la *Descriptio Urbis Romae*, se opta por establecer la orientación respecto a los puntos cardinales, simbolizados en los vientos característicos de Italia, que se expresan en los planos por su correspondiente inicial: Tramontana (Norte), Greco (Noreste), Levante (Este), Scirocco (Sudeste), Ostro (Sur), Libeccio (Sudeste), Poniente (Oeste) y Maestro (Noroeste). Cada una de las secciones entre los ocho puntos cardinales se dividía en 20 grados, lo que da un total de 160 partes, que a su vez se subdividían en diferentes fracciones. La radiación a partir de referencias angulares con respecto al punto cardinal más cercano en su orientación supone un avance que será fundamental en posteriores levantamientos urbanos a los que nos referiremos más adelante. Es interesante destacar que el levantamiento incluye tan sólo la medida angular al punto en cuestión y no la distancia desde la base a cada uno de los puntos.

Nicolás Adans y Simón Pepper han interpretado que los valores que aparecen en las visuales desde cada uno de estos cuatro puntos a algún punto medido son las coordenadas polares a los mismos. Sin embargo, dichas magnitudes son los valores angulares con respecto a cada uno de los vientos principales, los cuales se indican con una letra. Por tanto, tal y como recomendaba Alberti, lo que se está realizando es una tupida malla de radiaciones angulares a partir de cuatro puntos seguros (Arévalo 2003).

Por lo que respecta al plano U 772 A r. es relevante encontrar en un mismo plano dos puntos fijos desde los que se han realizado las medidas angulares (figura 4). Los puntos elegidos en este caso son la Puerta de San Niccolò y San Miniato, lugares cuya distan-



Figura 4. Antonio da Sangallo (c. 1526). Levantamiento de Florencia desde la Puerta de San Niccolo y San Miniato. GDS Uffizi U 772Ar. (Arévalo 2003).

cia puede ser obtenida con facilidad con los métodos indicados. Por tanto, conocida la distancia entre ambos puntos fijos, sería muy asequible obtener el levantamiento por intersección de las alineaciones obtenidas, lo cual viene a confirmar nuestra teoría de triangulación desde dos estaciones fijas.

Finalmente, los dibujos U 773 A r. y U 774 A r. están realizados tomando como punto central la Puerta de San Giorgio y la Puerta de San Frediano, respectivamente. El conjunto completo de dibujos permitía establecer un sistema de triangulaciones para obtener sin error un plano bastante exacto de los puntos más singulares de la ciudad y los alrededores. Sin embargo, salvo dichos puntos y, a lo sumo, el trazado de las murallas, la ciudad con sus calles, sus manzanas y su parcelario, continúa sin dibujarse en su interior, quedando aún por desarrollar un método más completo que el utilizado hasta el momento, que será explicado más adelante.

El método de radiación y triangulación fue posteriormente referido en multitud de tratados renacentistas, como en el de Juan de Rojas de 1551. También es utilizado por Juan Caramuel en 1678 para el cálculo de grandes distancias y por Walter Ryff para un caso específico de levantamiento arquitectónico.

Finalmente, es importante destacar un dibujo que refleja una triangulación de diversos puntos de Florencia y su entorno, incluido por Cosimo Bartoli en su obra *Del modo di misurare* de 1564. El levantamiento se realiza a partir de una serie de puntos fijos como son el *Campanile* de Giotto, el Palacio Pitti y el Monte Olivetti, al tiempo que recoge algunos de los monumentos más importantes de la ciudad. También se toman alineaciones desde poblaciones cercanas como Fiesole y Petraia. Una vez expuesta la teoría sobre el levantamiento mediante combinación de la radiación desde varios puntos centrales con la triangulación desde ellos, podemos apreciar que tal es el procedimiento que Bartoli ha seguido para la realización de este plano. De hecho, incluso aparece dibujado en cada estación el horizonte graduado con el que se han tomado las medidas angulares a cada punto, método éste que ya era sugerido por Alberti en *Ludi Matematici*. Aparte del uso del método de triangulación, que fácilmente se deduce del propio dibujo, el autor indica la necesidad de tomar siempre las alineaciones con respecto al Norte.

### LEVANTAMIENTO POR RODEO CON USO DE LA BRÚJULA. LA APORTACIÓN DE LEONARDO DA VINCI

Es muy controvertida la participación de Leonardo da Vinci en el plano de Imola, pues dependiendo de los autores, algunos mantienen que coincide con un plano anterior realizado por el ingeniero lombardo Danesio Manieri entre 1472 y 1474, mientras otros sostienen que Leonardo se limitó a las inscripciones (Richter, 1970), los colo-

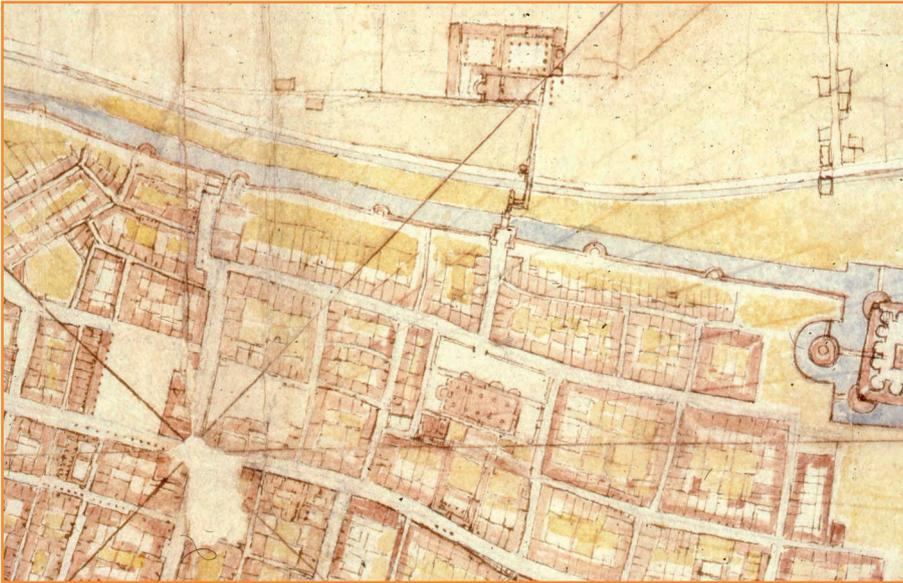


Figura 5. Leonardo da Vinci (c. 1502). Detalle del plano de Imola. Royal Library de Windsor (Arevalo 2003)

res, así como a diversas correcciones a dicho plano que éste realizó durante su estancia en esta ciudad durante el año de 1502. Sin embargo, la autoría del levantamiento es clarísima, pues su grafismo pertenece claramente a Leonardo.

El dibujo, que actualmente se conserva en la *Royal Library* de Windsor (Clark, 1968), constituye un documento de vital importancia, no sólo por ser la primera planta conocida de una ciudad después de la *Forma Urbis*, sino también por su interesante trabajo preparatorio. Además, el plano destaca por la admirable técnica gráfica que diferencia los espacios públicos de los privados, las escaleras, los jardines, y lo que es especialmente significativo, el parcelario (figura 5). A pesar de la pequeña escala a la que se ha realizado (1/43.000), el número y calidad de los detalles es extenso, dibujándose los esquemas planimétricos de los edificios principales, que sirven para indicar las entradas, los muros más notables, los patios principales... Los viales muestran no sólo sus desviaciones reales de trazado, sino también los pequeños entrantes y numerosos detalles mínimos en un verdadero esfuerzo por representar la realidad.

Al igual que lo debiera estar la *Descriptio Urbis Romae*, el plano de Imola se haya inscrito en el interior de un círculo de 42 cm. de diámetro, dividido en 32 partes, de tal forma que cada una de ellas se divide a su vez en otras dos, que se marcan con un trazo más fino. Por tanto, parece obvio pensar que el sistema empleado en el levantamiento se basa en el sistema utilizado por Alberti en su *Descriptio Urbis Romae*, para lo que una vez establecido un punto central, se debería ir tomando la medida angular a cada uno de los puntos que se pretendiese dibujar (Arévalo, 2003).

El sistema de radiación óptica, que no de coordenadas polares, como equivocadamente han indicado algunos autores con respecto a este plano de Imola, puede ser muy interesante si se utiliza paralelamente a otro método que pueda aportar mayor precisión al problema. Como ya se indicó en el análisis de la *Descriptio*, tal posibilidad puede solucionarse con el establecimiento de otra estación a una distancia. No obstante, el dibujante podría obtener los puntos principales de la ciudad, pero no los detalles del viario ni de los puntos no visibles, que necesitarían de un levantamiento sistemático mediante el establecimiento de polígonos que van delimitando las manzanas, operación que puede ser apreciada claramente en el trabajo.

Leonardo debió tomar para este plano algún tipo de referencias respecto al Norte de cada uno de los lados de los polígonos, pues, aparte del elevado grado de exactitud del plano finalmente dibujado, se puede constatar este método de trabajo en otros levantamientos suyos. Así, si bien es cierto que en el plano de Imola tan sólo se observa una cifra junto a cada uno de los lados de los polígonos, que se corresponde con la longitud de ellos, no se debe descartar que las medidas de los ángulos se tomaran aparte, como sucede con los levantamientos de Cesena y Urbino. En el caso de Urbino, Leonardo representa a un lado del papel la poligonal que se pretende dibujar con las longitudes de cada uno de los lados escritas sobre ellos, mientras que en la zona izquierda escribe el ángulo de cada uno respecto a una alineación dada, posiblemente al Norte, pues podemos ver escrita entre otras la palabra «tramontana». En el plano de Cesena, incluye en cada tramo de muralla tanto su longitud como su diferencia angular respecto al Norte. De esta forma, la obtención de la poligonal que une los vértices de la muralla resulta un problema fácilmente abaricable.

### LA CARTA A LEÓN X SOBRE EL LEVANTAMIENTO URBANO. OBTENCIÓN DE MEDIDAS ANGULARES CON BRÚJULA

La Carta a León X proporcionó a comienzos del XVI un método geométrico para el levantamiento de la ciudad de Roma (Gentil, 1992; Alonso, 1994; Bonelli, 1978). Tradicionalmente atribuida a Rafael, este escrito hacía referencia expresa al encargo papal de «poner en dibujo la antigua Roma», para lo cual el autor indica el sistema utilizado para la definición de las manzanas y edificios que conforman el casco histórico de la ciudad.

El autor de la Carta a León X indica que él mismo estaba realizando el levantamiento de Roma y que el proceso seguido consistía en definir las manzanas y edificios una vez conocida las longitudes y orientaciones de las fachadas. Ésta es precisamente la base sobre la que se sustenta inicialmente la teoría propuesta en nuestro estudio sobre un método de levantamiento urbano en el Renacimiento y que se verá respaldada con numerosos ejemplos detectados en los archivos. El método se basaba en obtener

el polígono que determinan los lados de las edificaciones, para lo cual contaba con la ayuda de un instrumento que Rafael nos describe con detalle y que supone una mejora del círculo graduado explicado por Alberti, en este caso un círculo dividido en ocho partes, que coincide como siempre con los ocho vientos principales de Vitruvio, las cuales se reparten a su vez en treinta y dos grados. La novedad del instrumento estriba en el uso de una brújula, que se coloca en su centro junto con una mira con la que establecer alineaciones visuales.

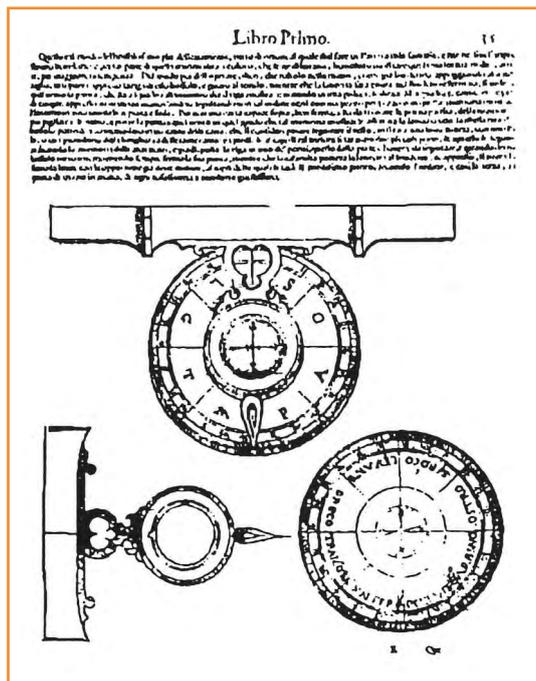


Figura 6. Girolamo Maggi (1567). *Della fortificazione delle città*. Instrumento de levantamiento basado en la brújula (Arevalo 2003)

La incomodidad y el consiguiente error que produce utilizar un instrumento circular que debe ser apoyado sobre el plano de una fachada fueron subsanados de inmediato por los arquitectos e ingenieros del Renacimiento. La primera descripción del instrumento mejorado la obtenemos en *Della fortificazione delle città* que Girolamo Maggi escribió en 1564 en colaboración con el también ingeniero Iacomo Castrioto, la cual incluye un dibujo del instrumento en cuestión. Éste consiste en un círculo graduado que se apoya sobre una regla, que coincide con el lado que se coloca sobre el plano de la fachada, con lo que sería ya innecesario dirigir el traguado hasta el extremo de la fachada, solventando de esta forma el problema que se suscitaba anteriormente (figura 6).

Otra versión de un instrumento similar al de Maggi la podemos obtener de Philibert de l'Orme, autor del tratado *Le premier tome de l'Architecture*, que se publicó en París en 1567. El instrumento descrito por el francés consiste en una brújula colocada en el centro de un triángulo equilátero en la que se dibuja una circunferencia dividida en treinta y dos partes, de tal forma que uno de los lados del triángulo se alarga un poco más con la intención de servir de regla de apoyo sobre la pared que se pretende medir.

El sistema siguió simplificándose y en 1567, esta vez en Venecia, se imprimió otro tratado en el que se describe el uso de un instrumento similar. Se trata de *L'Architet-*

*tura* de Pietro Cataneo Senese, que en la proposición cuadragésima segunda del libro séptimo indica el «Modo de proceder con la brújula en la toma de medidas de cualquier recinto, sitio, lugar o campo de forma adecuada» (Cataneo, 1982). Con la intención de ofrecer un modelo más práctico que los anteriormente descritos, dispone la brújula directamente en el listón de madera que se va a apoyar sobre la pared. El método supone una gran simplificación, pues en ningún caso es necesaria la obtención del ángulo que forman entre sí los lados del polígono, ya que cada uno de ellos tiene su referencia angular respecto al norte, es decir, en términos actuales, la medición que realiza es la del ángulo azimutal.

Por lo que se refiere al levantamiento urbano en España, éste no se queda al margen en el manejo de este instrumento de levantamiento. Así, Cristóbal de Rojas se refiere en su obra *Compendio y breve resolución de Fortificación* a un instrumento destinado al levantamiento en planta de ciudades, que consiste en un planisferio móvil con una brújula incorporada, el cual dispone de una regla recta tangente a la circunferencia destinada a apoyar el instrumento sobre una pared.

### EL TALLER DE ANTONIO DA SANGALLO EL JOVEN

Antonio da Sangallo el Joven (1485-1546), que al igual que Peruzzi, coincidió con Rafael en las obras de la basílica de San Pedro, llegó a adquirir una cierta familiaridad con los métodos recogidos en la Carta a León X para la representación gráfica y el levantamiento urbano. Sangallo el Joven, experto en fortificaciones, basaba siempre su trabajo en el dibujo y en un numeroso equipo de colaboradores (Benevolo, 1988). Para poder llevar a cabo esta serie de trabajos de levantamiento, el grupo dirigido por Sangallo debía tener unos códigos suficientemente claros para evitar los posibles errores y malentendidos por una inadecuada interpretación de los trabajos de campo, por lo que es de suponer que las tareas estarían normalizadas para que el trabajo se desarrollara adecuadamente. Posiblemente, Sangallo raramente asistiría a la toma de datos, sino que una vez obtenidos los datos necesarios por su equipo, se le enviaban para proceder a su dibujo definitivo.

Los dibujos realizados por el equipo de Sangallo demuestran el uso del sistema de levantamiento urbano basado en la obtención de la medida angular y longitudinal de las fachadas. Tal y como sucedía en la ya comentada radiación que Sangallo realizó en Florencia, las orientaciones vuelven a ser expresadas mediante la inicial de los vientos, que representa cada uno de los puntos cardinales. A partir de los datos obtenidos de aquella radiación, y confrontándolos con el análisis de los levantamientos de murallas que ahora se van a comentar, se puede estructurar una tabla en la que cada orientación aparece relacionada con su viento e inicial correspondiente:



longitud se escribe a lo largo del paramento. Esto permite una mayor distinción entre ambas medidas, consiguiéndose un mejor entendimiento del levantamiento.

Otro ejemplo del mismo autor es el levantamiento de las murallas de Castro, realizado en torno a 1540 (G.D.S.UFFIZI: U 294 A r.). Nuevamente, el levantamiento consiste en cerrar la poligonal de la muralla a partir de la medición de la dirección y longitud de cada uno de los tramos de la misma.

Tal y como se ha expresado en la tabla adjunta, el símbolo de la dirección «Este» solía expresarse no con la inicial «L» de «Levante», sino con el símbolo «+», lo cual debe estar motivado por la intención de evitar confusiones con la inicial de «Libeccio». Sin embargo, en el levantamiento de la ciudad de Cervia (G.D.S.UFFIZI: U 891 A r. y v.), el signo «+» es sustituido por un círculo con una pequeña cruz en su parte superior.

La ciudad con número un mayor de levantamientos de Sangallo conservados en los Uffizi es Roma, siendo especialmente interesantes los dibujos para las nuevas fortificaciones, que fueron encargadas por el Papa Pablo III Farnese. Destacan los dibujos realizados en torno a 1536 correspondientes al levantamiento de los restos de muralla aureliana en el tramo de la Porta de San Sebastián (G.D.S.UFFIZI: U. 892 Ar), especialmente el dibujo conservado con la identificación U 892 A verso, ya que es el primero de los planos comentados hasta el momento en el que se indica el espesor de la muralla.

Los siguientes dibujos de Roma podrían incluirse en un grupo diferenciado a los analizados hasta el momento, pues en ellos se introduce el método de radiación y triangulación junto con el de medidas angulares y longitudinales. Uno de ellos consiste en el levantamiento de las murallas vaticanas y del castillo de Sant`Angelo y se trata de un plano realizado en 1542, dieciséis años más tarde que la serie de levantamientos de Florencia, el cual muestra una evolución importante en el levantamiento: el uso de las alineaciones visuales con sus correspondientes valores angulares se realiza desde dos puntos de la propia muralla con la intención de comprobar el trazado de la misma, que se ha obtenido con el sistema novedoso de medidas angulares.

El equipo de Sangallo se desplazó a Perugia en el verano de 1540 para llevar a cabo el levantamiento de las murallas antiguas, quedando claro el interés de Sangallo por las ruinas del pasado. Muy esclarecedora es la lámina U 1.026 A r., un plano en el cual se utilizan los dos sistemas de levantamiento: por un lado el uso de radiaciones visuales desde un punto central, en este caso la Torre de Braccio Baglione; por otro, la toma de longitudes y orientaciones de las fachadas en el entorno de la Sapienza Nuova. El interés por otros dos dibujos de Perugia, también realizados por Sangallo en el verano de 1540, no sólo radica en la lámina U 1029 recto, en la que vuelve a utilizar el sistema de levantamiento comentado hasta el momento, sino fundamentalmente en el es-

quema de la esquina superior derecha de la lámina U 1029 verso, que incluye un levantamiento de una superficie por la reducción de la misma en superficies simples tales como cuadrados y rectángulos.

Para finalizar con este apartado, se menciona el plano para el castillo de Fabro, que pudo ser realizado por Sangallo en torno a 1533. Destaca entre todos los anteriores por ser el más completo de todos, pues incluye todo el perímetro de la muralla e incluso, representa parte de las manzanas de la mitad derecha, aunque no se observa ningún tipo de referencia sobre las medidas angulares de los muros.

### **EL SISTEMA DE RODEO EN LOS PLANOS DE BARTOLOMEO DE ROCCHI, Y BALDASSARRE PERUZZI**

Bartolomeo de Rocchi es, junto con Sangallo, el autor más explícito al indicar en sus dibujos las cotas obtenidas por el método de rodeo. Salvo excepciones, los planos de este autor conservados en el *Gabinetto Disegni e Stampe degli Uffizi* suelen indicar la medida angular y longitudinal de cada lado de la muralla.

En el plano de las murallas de Fermo, el autor indica mediante una notación perpendicular al lado del polígono, cada una de las cotas medidas en el levantamiento, indicando en primer lugar el valor angular, que como ya se analizó en el caso de Sangallo, se expresa con una magnitud a continuación de la inicial del viento que indica la orientación respecto a los puntos cardinales. Seguidamente, y separado por un punto, Rocchi anota el valor longitudinal del tramo de muralla correspondiente. Este es el único plano consultado en el que las cotas se expresan de esta forma, posiblemente porque fuese un plano a medio camino entre el trabajo de campo y el dibujo acabado.

Por lo que se refiere a los dibujos de Baldassarre Peruzzi, ya se ha comentado la coincidencia temporal de él y Sangallo en los trabajos de la basílica de San Pedro, siendo precisamente ésta la causa por la que ambos desarrollaron un método de levantamiento muy similar en sus trabajos. La obtención del perímetro de la muralla como fin último de la representación, o bien como fase inicial para la realización de un plano de la ciudad al que luego se le agregarían las manzanas interiores, se hace patente en el dibujo que Peruzzi realizó de Florencia. En él se definen cada una de las puertas y torres que conforman el sistema defensivo de la ciudad, así como los puentes que se asientan sobre el Arno. En el interior de dicho recinto tan sólo se sitúa Santa María de las Flores y el Baptisterio.

El único plano obtenido de Peruzzi en el que se expresan las cotas según el método utilizado por Sangallo es el que parece referirse a la «Rocha di Cremole». Aunque es posible advertir las medidas angulares con respecto a las iniciales de los vientos, su

configuración es mucho más confusa que la de Rocchi y Sangallo, siendo muy dudosa su formalización a un plano a escala en el caso de que el autor hubiese tomado este único dibujo de campo.

### **LEVANTAMIENTOS CON SISTEMA MIXTO DE RADIACIÓN Y RODEO. LOS CASOS DE ROMA Y VIENA**

La perspectiva seguía siendo el sistema más usual para representar la ciudad en el XVI, salvo la excepción de la planta realizada por Leonardo Buffalini en 1551, sistema éste que no volverá a repetirse hasta el plano realizado por Nolli en 1748. De hecho, planos posteriores al de Buffalini volverían a utilizar insistentemente la perspectiva militar (Arévalo, 1998).

Uno de los ingenieros especializados en la realización de bastiones y fortalezas llamados por Pablo III a Roma para mejorar las defensas del Vaticano fue Leonardo Buffalini, quien realizó con los métodos expuestos anteriormente, el primer plano en planta de la ciudad (Ehrle, 1911). En dicho plano se puede obtener una gran cantidad de imágenes de las ruinas del pasado de la Roma imperial, reconstruyendo en algunos casos el estado original de las mismas y representando no solo las zonas pobladas, sino también las zonas de ciudad abandonadas y ocupadas únicamente por ruinas, ofreciendo una imagen de ciudad como organismo complejo y articulado.

El sistema debe ser el mismo que el empleado por Leonardo en Imola y que el explicado por Rafael en la Carta a León X. Prueba de ello es que cuando Buffalini dibuja en el margen los instrumentos utilizados en el levantamiento, incluye un círculo graduado similar al descrito un siglo antes por Alberti, en cuyo centro adivinamos una aguja imantada.

Casi paralelamente a la realización del plano de Roma por Buffalini, el desarrollo de la cartografía germana permitió que el levantamiento urbano al otro lado de los Alpes diera frutos tan interesantes como los planos de Viena dibujados por Wohlmuet y Hirschvogel. Bonifaz Wohlmuet, maestro mayor de la catedral de Saint Stephen, y Augustin Hirschvogel, matemático y cartógrafo de Nuremberg, trabajaron simultáneamente en la realización de sus dibujos. Así, en 1547 Wohlmuet resolvió el plano enmarcándolo en una forma rectangular y con la técnica de óleo sobre madera; Hirschvogel realizó en el mismo año su plano circular de Viena utilizando la técnica del aguafuerte, si bien no fue publicado hasta 1552.

Lo realmente interesante es que Hirschvogel relató las operaciones fundamentales de su levantamiento y los instrumentos usados, lo que es explicado en un manual con

gran cantidad de detalles, que incluye láminas realizadas por el propio Hirschvogel que muestran instrumentos de levantamiento. Éstos son los pasos utilizados para la obtención del plano de Viena:

- Obtención de los lados que conforman la poligonal de la muralla, por lo que es posible que utilizara un instrumento con brújula para medir las orientaciones angulares.
- Radiación y triangulación a partir de seis discos circulares colocados en el interior de la ciudad y divididos en 90° y orientados convenientemente al Norte. Hirschvogel indica que para obtener las medidas de manera indirecta utilizó un instrumento diseñado por él mismo, consistente en un compás magnético sobre el que se disponía un estrecho tubo a manera de alidada. Lógicamente, los discos circulares citados por el autor no son sino el horizonte graduado de Alberti en la *Descriptio*.
- Una vez tomadas las medidas, el dibujo debe ser pasado a escala, para lo cual, los pequeños discos utilizados en el levantamiento con las medidas anotadas se colocan sobre el papel, debidamente orientado hacia el Norte, a la distancia a escala existente entre ellos. Se obtienen así sobre el papel las medidas angulares de las diferentes enfilaciones.
- Obtenidos los puntos fundamentales del levantamiento, Hirschvogel se dedica a tomar los datos del viario, que se refieren en todo momento no sólo a los seis puntos principales, sino a todos aquellos otros elementos que, habiendo sido tomados por triangulación, ofrecen tanta exactitud como aquellos.

Hirschvogel deja sin dibujar el parcelario, cosa que sí hizo Wohlmuet. Por lo que se refiere al uso del círculo por parte de Hirschvogel en su plano de Viena, la elección de tal figura no nos debe extrañar. Con el uso del sistema de levantamiento basado en radiación-triangulación y en la obtención de medidas angulares estaban puestas las bases para el levantamiento urbano.

## BIBLIOGRAFÍA

- ADAMS, Nicholas; PEPPER, S. (1994): The Fortification Drawings, The *architectural drawings of Antonio da Sangallo the Younger and his circle*, Volumen I, Editor General: Christoph L. Frommel, Nueva York, The Architectural History Foundation. The MIT Press, pp 61-74.
- ALONSO RODRÍGUEZ, Miguel Ángel (1996): Notas sobre dos técnicas de levantamiento urbano empleadas por los arquitectos renacentistas, *Actas del VI Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica*, Pamplona, E.T.S.A. de la Universidad de Navarra, pp 195-206.
- ALONSO RODRÍGUEZ, Miguel Ángel (1994): La Carta a León X. Memoria del levantamiento arquitectónico de Roma en *Actas del V Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica*, Las Palmas de Gran Canaria, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, pp 257-270.
- ARÉVALO RODRÍGUEZ, Federico (1996): Descriptio Urbis Romae: mecanismos geométricos para un levantamiento en *La representación de la ciudad. Actas del VI Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica*, Pamplona, E.T.S.A. de la Universidad de Navarra, pp 245-255
- ARÉVALO RODRÍGUEZ, Federico (1998): La perspectiva militar: ilusionismo o el vero ritratto de la ciudad en el Renacimiento en *Actas del VII Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica*, San Sebastián, Servicio Editorial, Universidad del País Vasco, pp 313-325.
- ARÉVALO RODRÍGUEZ, Federico (2003): *La representación de la ciudad en el Renacimiento. Levantamiento urbano y territorial*, Barcelona, Fundación Caja de Arquitectos.
- ARÉVALO RODRÍGUEZ, Federico (2000): Una aplicación de los nuevos instrumentos de cálculo de la posición al levantamiento arquitectónico por el método de itinerario con brújula en *Actas del VIII Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica*, Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña, pp 351-354.
- BENCIVENNI, M. (1982): La rivelazione del perimetro urbano fiorentino in alcuni disegni di Antonio da Sangallo il Giovane, *Storia Architettura* 5, nº 2, pp 25-38.
- BENEVOLO, Leonardo (1988): *Historia de la Arquitectura del Renacimiento. La Arquitectura clásica (Del siglo xv al siglo xviii)*, Volumen primero, Barcelona, Editorial Gustavo Gili, S.A.
- BONELLI, Renato (1978): Lettera a Leone X en *Scritti rinascimentale di Architettura*, Milán, Edizioni Il Polifilo, pp 459-484.
- CATANEO, Pietro (1982): *L architettura. Libri otto*, Edición facsímil, Biblioteca di Architettura urbanistica. Teoria e storia. Nº 10, Arnaldo Forni Editore.
- CERVERA VERA, Luis (1978): *El código de Vitruvio hasta sus primeras versiones impresas*, Madrid, Instituto de España.
- CLARK, Kenneth (1968): *The drawings of Leonardo da Vinci in the Collection of Her*