

# Entre el agua y la arquitectura: la geometría

Leonardo F. Icaza Lomelí

INAH

El objetivo de esta propuesta es buscar cómo de las relaciones entre el agua y la arquitectura resulta una síntesis geométrica: la *vesica piscis*, que se define como el espacio compartido por la intersección de dos círculos con un mismo diámetro, así como por ser el lugar común donde nacen las formas geométricas.<sup>1</sup> Así, rastreando en tratados, ordenanzas y diccionarios, y elaborando su deducción y síntesis gráfica, se pudo comprobar que al utilizarla en dos ejemplos (las datas y el nivel) descubrimos su aplicación al trazo probándose la existencia de un código.

Para iniciar la búsqueda de esa síntesis empezamos por citar cómo se construye:

Se marca un centro, con una abertura unitaria en el compás, se traza un círculo. Con ese mismo radio y con centro en un punto de la circunferencia, se traza otro círculo; este segundo círculo es como una emanación original.<sup>2</sup> (Véase fig. 1)

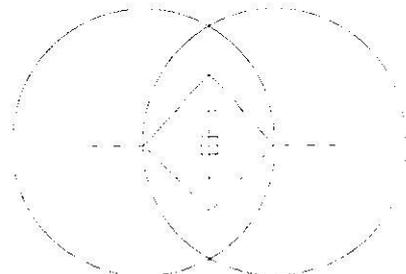


Fig. 1

1. Apud. Cesar González Ochoa. *Música congelada*. Mito, número, geometría. México: Ubarí Ediciones, 2003, pp. 49, 55.

2. *Ibid.*, p. 49.

Durante los siglos XVI y XVII novohispanos, el abastecimiento de aguas y la protección contra ellas da un buen pretexto para justificar el tema en estudio, ya que fueron estas soluciones las que más recursos tecnológicos y económicos emplearon para garantizar el funcionamiento y permanencia de cualquier asentamiento.

Con el fin de abastecer, conducir y normar el reparto del agua a una ciudad o a una unidad productiva, el surgimiento de condiciones o formas legales de acuerdo con un canon o marco y a su condicionamiento o aplicación de ordenanzas, se van a ver materializadas conforme con una dimensión y proporción en las soluciones, tanto de instrumentos como de elementos de la arquitectura.

Tres obras especializadas y publicadas fueron esenciales para intentar conocer "la razón" de la propuesta: "Los Elementos de la Geometría", de Euclides;<sup>3</sup> *Los Veintitún Libros de los Ingenios y Máquinas de Juanelo Turriano*,<sup>4</sup> tratado de finales del siglo XVI sobre arquitectura hidráulica, y *Los diez libros de la arquitectura* de Vitruvio en dos versiones del siglo XVI.<sup>5</sup>

Para su análisis, me auxilié de los dibujos que aparecen en los tratados antes mencionados. La utilización de la cuadratura del círculo y la división del cuadrado aplicados a estos ejemplos se sustenta en el libro *Música congelada* sirviendo de fundamento y relación con el trazo de datas y el diseño de un nivel.<sup>6</sup> También utilizamos las Ordenanzas de tierras de 1567,<sup>7</sup> con lo cual se estableció la relación entre una dimensión de una norma escrita y el dibujo de un trazo.

Partimos de la hipótesis de que los dibujos mostrados por los especialistas de datas y niveles entre la relación del agua y las soluciones de la arquitectura, se condicionan a la utilización de un código geométrico; por lo tanto, si lo pudiéramos deducir y seguir sistemáticamente, encontraríamos la definición de su construcción.

Para pasar de una interpretación escrita a otra esencialmente gráfica, fue preciso hacer la distinción entre el oficio (geometría) y el oficial (geómetra), determinando el principio entre razón y fábrica aplicado al trazo y construcción de los dos ejemplos.

3. Euclides. *Elementos de Geometría*. 2ª ed. Introducción, versión y notas de Juan David García Bacca. México: UNAM. Coordinación de Humanidades. 1992. 2 vols.

4. *Los Veintitún Libros de los Ingenios y Máquinas de Juanelo Turriano*. Transcripción del manuscrito con prólogo de Pedro Laín Entralgo. Reflexiones de José García-Diego. Madrid: Fundación Juanelo Turriano. Doce Calles y la Biblioteca Nacional de Madrid. 1996 (5 tomos Facsímil y 2 tomos de transcripción)

5. Marco Vitruvio Pollion. *De Architectura*. Traducidos del latín al castellano por Miguel de Urrea. Alcalá de Henares: Juan Gracian. 1582. Valencia: Editorial Albatros. 1978 (Col. Juan de Herrera. 4). Marco Vitruvio Pollion. *Los X Libros de la Arquitectura*. Trad. de Lázaro de Velasco. Estudio y transcripción de Francisco Javier Pizarro y Pilar Mogollón Cano-Cortés. Cáceres: cicos Ediciones. 1999.

6. González, *op. cit.*, pp. 43-58

7. Francisco de Solano. *Cedulario de Tierras* Compilación de legislación agraria colonial (1497-1820). México: UNAM, 1984. pp. 205-208.

Así, se condujo el problema de un ámbito teórico a otro eminentemente práctico, infiriendo que no necesita en su aplicación de comprobaciones matemáticas complejas.

De acuerdo con lo planteado, comencé por identificar formalmente la *vesica piscis* y establecer la manera práctica de su dibujo, trazo o construcción.

Conocer esta base y cómo de ella derivar a dibujar el círculo y el cuadrado, me llevó a deducir distintas maneras de obtener “la cuadratura del círculo” con cuatro posibilidades: Cuadrado inscrito dentro de un círculo; círculo dentro de un cuadrado; perímetro del círculo igual al perímetro de un cuadrado; y área del círculo igual al área de un cuadrado.

De la obtención de un cuadrado partiendo del área conocida de un círculo pude llegar a dar respuesta a otro enigma de los geómetras griegos: “la subdivisión del cuadrado”.

Para el desarrollo de la propuesta y comprobar la hipótesis del trabajo, elegí la aplicación y resolución mediante trazos y dibujos de este código y determinarlo por la vía de la cuadratura del círculo y la subdivisión del cuadrado. Pretendíamos establecer la relación de estas respuestas geométricas con la solución del trazo, esto es, el diseño conforme a la dimensión y proporción de una data<sup>8</sup> y la de un nivel<sup>9</sup> para el agua.

### *Datas*

Durante el virreinato novohispano el agua de ríos, arroyos y manantiales –que no fuera de los indígenas– pertenecía a la Corona de España, por lo que para poder usarla se requería de su cesión. Será en el gobierno en quien recaiga esta responsabilidad. Con los antecedentes cesionistas de los gobiernos locales como de los que vinieron de ultramar, se conformó una experiencia en la Nueva España que estructuró los mecanismos legales para normar la distribución y la cantidad que debía repartirse del preciado recurso.

8. Data: Abertura u orificio que se hace en los depósitos de agua, para dar salida a una cantidad determinada de ella, como un real, una paja, etc. Martín Alonso. *Enciclopedia del Idioma*. 2da reimp. Madrid: Aguilar, 1982.

9. La palabra nivel viene del italiano *nivello* y éste a su vez del latín *libella*, diminutivo de *libra*, la cual significa peso y balanza. La denominación de libra indica en tanto peso, romana, balanza, plumada y nivel. *Diccionario Ilustrado vox Latino-Español Español-Latino*. Prólogo de Don Vicente García de Diego. Primera Reimpresión. México: Editorial REL, 1993.

La población, villa o persona que pretendiera el uso de una fuente de suministro, tenía que hacer trámites muy engorrosos y pasar inevitablemente por cinco etapas: la petición de una merced de agua; la verificación por funcionarios y vecinos; la repartición; la autorización y la toma de posesión.

La solicitud se hacía ante las autoridades por mediación del cabildo, especificando nombre, características y ubicación de la fuente solicitada, además del propósito para el cual se deseaba utilizar (satisfactor primario, riego, o fuerza motriz) o bien para poder drenarla mediante canales a sitios o lugares definidos.

La investigación y la gestión de las peticiones recaían en los funcionarios de la Audiencia, los cuales dirigían las solicitudes a los representantes de los gobiernos de las provincias y localidades. El gobernador o corregidor, al tener la solicitud en sus manos, enviaba un oficio al alcalde mayor de la población más cercana en la que demandaba la merced para proceder a investigar si la dotación era posible y si no afectaba intereses de terceros. Con este fin, el teniente de distrito correspondiente hacía una inspección citando a los vecinos.

Si no existía impedimento para la cesión de aguas, el funcionario ordenaba elaborar las reparticiones respectivas preparando para tal fin un plano, mapa o pintura del sitio, zona o paraje; pero antes de proceder a ello se deberían verificar las cantidades y a quiénes habían sido mercedadas, mandando a construir una edificación (partidor) lo suficientemente sólida y exacta para poder controlar las porciones de agua que se cederían.

Cuando se terminaban las diligencias en el campo, con tales datos el geómetra o agrimensor elaboraba un plano o mapa que definía gráficamente la petición. Luego, las autoridades locales lo remitían junto con la solicitud –y previa aprobación de los vecinos, testigos y oficiales– a la sede de la Audiencia. El fiscal responsable las pasaba al virrey para que éste procediera

a su donación; al efecto elaboraba el título a nombre del rey, estipulando toda clase de detalles (ubicación, calidad, cantidad, condiciones y destino) de las aguas que se iban a mercedar. Entre las condiciones de cesión de las mercedes de agua, se cuentan, como las más importantes, la fábrica y mantenimiento de las obras, así como la de construir fuentes públicas que pudieran alimentarse con las aguas remanentes de la cesión.

La última etapa en el procedimiento para obtener la cesión de una merced de agua, la constituía el acto de toma de posesión, en el que la máxima autoridad de la población entregaba la propiedad al beneficiario, quien oficialmente tomaba posesión de ella delante de los testigos de rigor. Las solicitudes de mercedes para aguas, están mencionadas en los documentos con medidas de orificios (cuadrados, rectangulares y circulares).

A continuación se incluyen algunos fragmentos de las *Ordenanzas de tierras* de 1567, relativos a las medidas hidráulicas.

Ordenanzas de tierras compuestas por don José Sanz Escobar por orden del Virrey don Gastón de Peralta Marqués de Falces, México, 26 de mayo, 1567

Primeramente se manda y ordena que las medidas de tierras y aguas sean hechas con vara usual del marco mexicano, que es el de Burgos. Y para facilidad de las operaciones podrá el agrimensor subdividir la vara en tres partes —que llaman tercias o pies castellanos—, cada tercia o pie en 12 pulgadas (que son 16 dedos); cada pulgada en 12 líneas y cada línea en 12 puntos.

De manera que la vara	3 pies
	36 pulgadas
que son	48 dedos o
	144 líneas o
	1728 puntos

En estas subdivisiones que tiene la vara se practicarán todas las mercedes de tierras y aguas de la manera siguiente:

1.7. Del sitio para molino o batán

Previene la ordenanza tenga 50 varas por cada lado, que son 2.500 varas de superficie. Y según cálculo, necesitan tres surcos para el molino, que son los que muelen las semillas o cañas.

2. De las mercedes y medidas de agua y sus orificios, tanto rectangulares como circulares

### 2.1. Buey de agua

Es un claro o foramen, que es cuadrado, que tiene por cada lado una vara. Y porque ésta se subdivide en pies, en pulgadas, en líneas y en puntos, son en 3 pies, en 36 pulgadas, en 432 líneas, en 5184 puntos. Corresponden de superficie 9 pies, 1236 pulgadas, 1886,624 líneas o 26.873,856 puntos cuadrados. Siendo circular el foramen, debe de tener el diámetro de una vara, cuatro pulgadas, once líneas y once puntos.

Subdivídase el buey en 48 partes, que llaman surcos. Cada surco, en tres naranjas; cada naranja, en ocho limones; cada limón, en dos dedos; cada dedo, en nueve pajas. Y también dividen el dedo en 15 granos, de la manera que aparece:

### 2.2 Surco de agua

Es la cuarenta y ocho<sup>a</sup> parte del buey. Y son 3 naranjas, 24 limones, 48 dedos, 432 pajas. Que corresponde de su superficie 3.888 líneas, que son 552.872 puntos cuadrados.

Y siendo circular, corresponde de diámetro el orificio o foramen 5 pulgadas, 11 líneas. De manera que dos surcos corresponden el respectivo de la superficie.

### 2.3. Naranja de agua

Es la tercera parte de un surco. Por lo que son 8 limones, 16 dedos o 144 pajas, que corresponde de superficie 1,296 limones. Y siendo circular, corresponde de diámetro 3 pulgadas y 5 líneas. De manera que a dos naranjas les corresponde de superficie – según cálculo exacto- 21.592 líneas cuadradas. Y el diámetro del círculo, 4 pulgadas y 10 líneas.

### 2.4. Paja de agua

Es la décima parte del dedo, que le corresponde de superficie 9 líneas cuadradas; al diámetro del círculo de igual superficie corresponden 4 líneas y 10 puntos.

A las 3 pajas corresponden 27 líneas cuadradas de superficie y al diámetro del círculo de igual capacidad corresponden 5 líneas 11 puntos.

A las 5 pajas corresponden de superficie 45 líneas cuadradas. Y al diámetro del círculo corresponden 7 líneas 8 puntos.

A las 9 pajas (que es un dedo) corresponden de superficie 81 líneas cuadradas que convertidas en foramen circular corresponde al diámetro. [Biblioteca Nacional de Madrid, Ms. 20,245 núm.17.]<sup>10</sup> (Véanse figs. 2 y 3)

10. De Solano, *op. cit.*, pp. 205-208.



De la lectura de las *Ordenanzas* anteriores, intentaremos pasar de una expresión o definición escrita a una dibujada. El marco de referencia será la vara castellana y las propuestas de sus divisiones en pies, pulgadas, dedos, líneas y puntos, y para ser más específicos, su aplicación a las mercedes y las medidas de agua.

La subdivisión geométrica del cuadrado en mitades y tercios servirá para poder establecer las dimensiones y proporciones propuestas por la normatividad de las ordenanzas. A continuación el resumen de las mercedes y medidas de agua.

El buey de agua es una perforación o abertura cuadrada de una vara por lado, que a su vez se divide en 48 surcos; el surco en tres naranjas, cada naranja en ocho limones o reales, el limón en dos dedos, el dedo en nueve pajas o en 16 granos.<sup>11</sup>

Si se tienen los marcos de medida establecidos para determinar una dimensión, estas cantidades fraccionarias y difíciles de manejar se pueden obtener por la cuadratura del círculo, el área de un cuadrado conocido (un buey de agua) igualarlo al área de un círculo o por el método del lado=8, circunferencia 9, o a través de la *vesica piscis*, círculo de diámetro igual al del lado del cuadrado.

Si la forma geométrica del orificio fuera circular, éste tendría que ser de una vara más 4 pulgadas, más 11 líneas, más once puntos; es decir, la equivalencia para un buey de agua. El surco de agua o cuarta sería de 5 pulgadas y 11 líneas. A la naranja de agua le corresponde un diámetro de 3 pulgadas y 5 líneas. La paja tendrá un diámetro de 4 líneas y 10 puntos.

Como referencia se citarán algunas cantidades mercedadas: para el abastecimiento de una población, se podían dotar 24 surcos o el equivalente a medio buey de agua, para accionar un molino de trigo; 8 surcos, para el riego de una caballería de tierra cultivada de caña de azúcar; 4 surcos, para una de trigo y maíz; asimismo 3 surcos, para hacer funcionar un batán.<sup>12</sup> (Véanse figs. 4 y 5)

11. Iris Santaacruz Fabila y Luis Jiménez-Cacho García. "Pesas y medidas". *Siete ensayos sobre la hacienda mexicana 1780-1880*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia, (Col. Científica, 55), 1977 pp. 21-65.

12. *Apud*. Gisela Von Wobeser. "El uso del agua en la región de Cuernavaca, Cuautla durante la época colonial". *Historia Mexicana*. México: El Colegio de México, vol. xxxii, núm. 4 (128), abril-junio, p. 467.

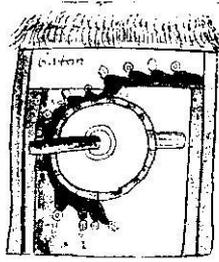


Fig. 4. Lámina del Códice Kingsbourough. 3 surcos para hacer funcionar un batán.

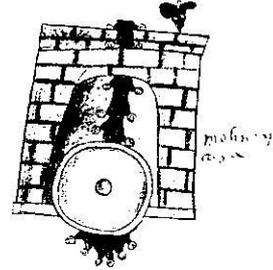


Fig. 5. Lámina del Códice Kingsbourough. 8 surcos para accionar un molino de trigo.

Revisando y aplicando los anteriores procedimientos pretendemos hacer notar cómo estos repartimientos basados en figuras jurídicas, que en apariencia eran muy estrictas, se prestaron a muchos abusos: en este trabajo no pretendemos analizarlos con una crítica legal sino para entender y definir una síntesis geométrica, sobre todo la que se refiere a las aberturas para distribuir el agua.

*Vesica piscis* y trazo de las *datas*. (Véase lámina 1, p. 17).

*Paso uno.* Construir la *vesica piscis* circunscribiendo un círculo con la dimensión de una vara entre los centros F-G.  
*Paso dos.* A partir de esta base geométrica construir un cuadrado que tenga por cada lado la dimensión de una vara. Y de las intersecciones horizontal y vertical de la *vesica piscis*, obtener el radio para construir un círculo con un área semejante a la del cuadrado.

*Paso tres.* Conocida la dimensión del cuadrado y de las rectas vertical y horizontal que pasan por su centro, construir a partir de su intersección un cuadrado que sea la mitad en área. (Véase fig. 6)

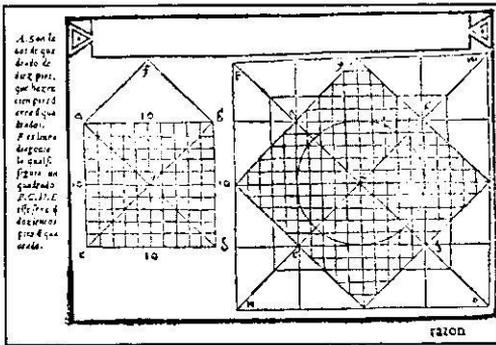


Fig. 6. Del Libro Nono capitulo primero Invençion de Platón para medir el campo. Marco Vitruvio Pollion. *De Architectura...*

*Paso cuatro.* Determinar a partir de la recta F-G, que sirve como eje de simetría, la subdivisión del cuadrado sugerida supuestamente por Platón en la versión del Vitruvio de Lázaro de Velasco y la del lado izquierdo la determinada por "Juanelo Turriano". (Véanse figs. 7 y 8)

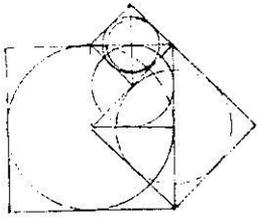


Fig. 7. Subdivisión del cuadrado y la inscripción de un círculo. Vitruvio de la versión de Lázaro de Velasco (1564). Libro nono capitulo primero y segundo Marco Vitruvio Pollion. *Los X Libros...*

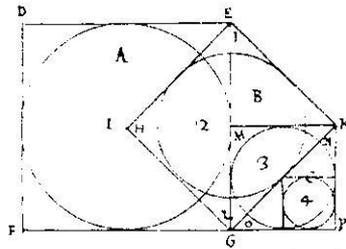


Fig. 8. Subdivisión del cuadrado y la inscripción de un círculo para obtener la proporción de una rueda hidráulica en los Veintiún Libros ¿1590? Libro 13. f. 344v. Pedro Laín Entralgo. *Los veintiún Libros...*

*Paso cinco.* Subdividir el cuadrado por medio de la *vesica piscis*. Los círculos (con línea punteada) corresponden a su equivalente en área de los cuadrados correspondientes.

*Paso seis.* Dividir un cuadrado de una dimensión conocida (recta c-g) y en  $1/3$  del área de la figura base con el auxilio de un círculo inscrito.

*Paso siete.* Partiendo de la dimensión de un surco (48<sup>a</sup> parte de una vara) dividir ese cuadrado en su tercera parte a partir de un círculo inscrito para obtener la medida de una naranja, y de ésta hacer dos subdivisiones del área de ese cuadrado para deducir el área de un limón.

*Paso ocho.* De la dimensión conocida por la recta F-G y de establecer la cuadratura del círculo para obtener la misma área que la del cuadrado base. *Las Ordenanzas de Sevilla* aplicadas al caño de Carmona muestran un magnífico resumen de la síntesis geométrica. Lo que hemos hecho en el croquis es seguir los pasos lógicos para reducir el equivalente de lo que es una vara por una vara "buey de agua" a 16 cuartas o "surcos" de los surcos reduciendo en terceras partes esa dimensión para obtener naranjas y de esta medida reduciendo dos veces esa área cuadrada obtuvimos limones, reales o el equivalente a dos dedos. A las subdivisiones del cuadrado de una dimensión conocida dibujar sobreponiendo los círculos de áreas semejantes a las de los cuadrados correspondientes. (Véase fig. 9)

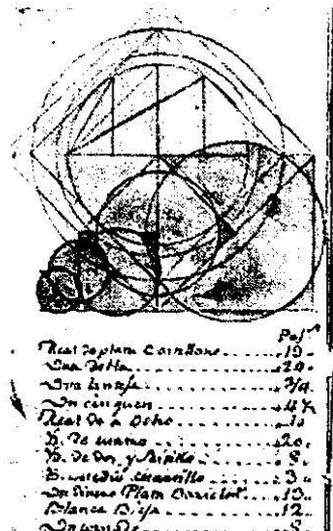


Fig. 9. Medidas de los caños de Carmona para la ciudad de Sevilla, en documento de 1657. Se aprecia la subdivisión del cuadrado y la de los círculos de áreas semejantes. (AGS, M. y D., I-68) *Catálogo de la Exposición...*

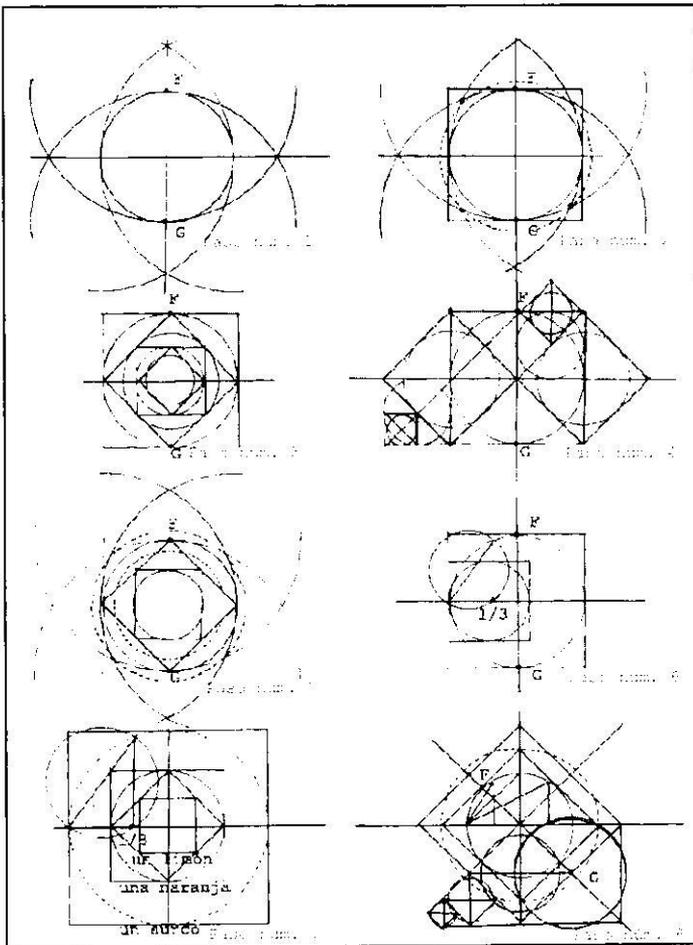


Lámina 1

### Nivel

Aplicando la *vesica piscis* a la exposición de este instrumento, incluso si no supiera el significado de su nombre, siempre estará regida por principios: por un lado, la síntesis geométrica y, por otro, la fuerza de gravedad. Con estos fundamentos, buscaremos dar respuesta limitada a la construcción de dos planos perpendiculares entre sí establecidos por un elemento en equilibrio.

13. Fernando García Salinero. *Léxico de Alarifes de los Siglos de Oro*. Madrid: Real Academia Española, 1968.

14. Véase *Diccionario Ilustrado vox Latino-Español...*

15. Elio Antonio de Nebrija. *Vocabulario Español-Latino*. Copia facsimilar de la edición de Salamanca 1495? Madrid: Real Academia Española, 1951.

16. *Idem*.

17. *Idem*.

18. M. I Vicente Maroto y M. Esteban Piñeiro. *Aspectos de la ciencia aplicada en la España del siglo de oro*. Madrid: Junta de Castilla y León. 1991 (Estudios de la ciencia y de la técnica, 5), p. 502.

La palabra nivel viene del italiano *nivello* y éste a su vez del latín *libella*, diminutivo de *libra*, a la que le dan el significado de peso y balanza.<sup>13</sup> La denominación de libra indica peso, romana, balanza, plomada y nivel.<sup>14</sup> El nombre de nivel en el *Vocabulario* de Elio Antonio de Nebrija nos muestra el equivalente a dos palabras latinas: *libramentum* y *perpendicularum*.<sup>15</sup> Consultando su sentido tenemos, para la primera, equilibrio, nivel; y para la segunda, plomada. De allí que, la raíz de la expresión ‘nivel’ sirva tanto para designar a una balanza como a un perpendicular.

A la segunda expresión mencionada, *perpendicularum*, se le otorga el significado de *plomo de albañil*;<sup>16</sup> es también importante señalar que perpendicular, a su vez, viene de *pendeo*, que significa “estar colgado”.<sup>17</sup> Covarrubias dice del vocablo plomada que es “el estilo de plomo para señalar”.

El *Diccionario de Autoridades* define perpendicular como: “La línea recta tirada desde el vértice del triángulo perpendicular a la base”.

Del trazo de este tipo de instrumentos, trata Cristóbal de Rojas en el capítulo xxiii, “De la fábrica y distribución de un nivel para encaminar las aguas”, en el cual muestra un nivel de 20 pies de hueco entre las dos puntas y 10 pies de alto, como algo muy necesario para el ingeniero.<sup>18</sup> Es importante mencionar a Cristóbal de Rojas porque al analizar las obras de García de Céspedes y de Andrés de San Miguel, tienen mucha similitud en lo que respecta a su base geométrica.

Andrés de San Miguel describe el trazo del instrumento en el apartado “Como se fabrica un nivel con que se nivela cual de dos partes está más alta y se sabe la distancia que hay entrambas”:

Hágase el círculo *abad*, cuyo centro es *e*, y tírense los diámetros *ac bd* que dividen el círculo en cuatro cuadrantes, y pártase el semicírculo *ce* en diez partes iguales. Poniendo el pie del compás en *c*, se describen círculos que pasen por las divisiones y parten la circunferencia del círculo *después*,

del punto *d* se tiren las líneas *que serán los brazos del nivel*. Tómese *al am*, que sean iguales, y tírese y esta será la travesía del nivel y donde cortare las líneas que se tiraron del punto *a* a esta travesía, se parten las medidas que muestran la altura de un punto a otro, lo cual se señaló con un número como aparece en la figura. Cuando se hubiese de hacer este nivel, búsqese una pared o cosa semejante muy lisa y llana en la cual se hará el círculo *abad*, que tenga por lo menos diez pies de diámetro, en lo que se alzará como aquí habemos dicho, partiendo el semidiámetro *ce* en diez partes iguales, que cada una será medio pie, y otro tanto valdrá cada división de la travesía *lm*; cada una de estas divisiones se puede dividir en dos partes, como en la traza se muestra, porque con más precisión se haga la nivelación. También se puede hacer la partición en cuartos; los brazos *ab ad* se harán de manera que de la una punta a la otra no excedan los tres pies de la travesía *lm*, cuando más cerca se pusiére de los puntos *bd*, será mejor porque serán mayores las divisiones.<sup>19</sup>

Andrés García de Céspedes, cosmógrafo mayor del Rey, en su libro de instrumentos,<sup>20</sup> capítulos XII-XVIII, explica la fábrica y el fundamento matemático para la construcción de un nivel partiendo de una circunferencia de 10 pies de diámetro.<sup>21</sup> Se destaca la semejanza entre los niveles de Andrés García de Céspedes y Andrés de San Miguel, y la de éstos con el de Cristóbal de Rojas, pero en lugar de tener un diámetro de veinte pies, lo proponen de diez. (Véase fig. 10)

La dimensión mencionada para estos instrumentos de nivel, como el dibujo de Cristóbal de Rojas lo muestra, se estima en 20 pies de “hueco” y 10 pies de “alto”. El nivel de peso de Diego López de Arenas –tratadista contemporáneo de Andrés de San Miguel– dice, respecto a su propuesta de tamaño: “defte modo queda el nivel de veinte pies perfectamente acabado”.<sup>22</sup> El nivel de cuadrante de Andrés de San Miguel sugería que podría ser de 10 pies de diámetro, posiblemente determinado por el

19. Andrés de San Miguel, *Obras de fray...* Introducción, notas y versión paleográfica de Eduardo Báez Macías, México: UNAM, Instituto de Investigaciones Estéticas, 1969, pp. 223-224.

20. Andrés García de Céspedes, *Libro de instrumentos nuevos de geometría y muy necesarios para medir distancias y alturas, sin que intervengan números, como se demuestra en la práctica. Demás de esto se ponen otros tratados: como es uno de conducir aguas*, Madrid: Juan de la Cuesta, 1606.

21. Maroto y Piñeiro, *op. cit.*, p. 500.

22. Diego López de Arenas, *Breve compendio de carpintería de lo blanco y tratado de alarifes*, Sevilla: Luis Estupiñán, 1633, Madrid: Albatros Ediciones, 1982 (Col. Juan de Herrera, dirigida por Luis Cervera Vera, 8), f. 49.

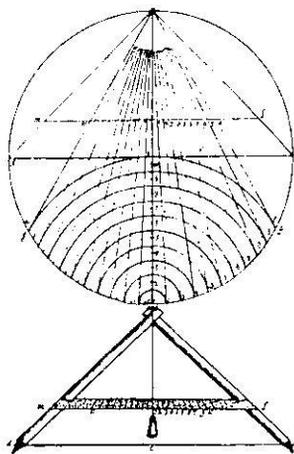


Fig. 10. Nivel ordinario de Andrés de San Miguel, 1630?

trazo de Andrés de Céspedes, o como ya hemos mencionado, directamente del de Rojas.

#### *Vesica piscis y trazo de un nivel*

Descrita en ocho etapas o pasos. (Véase lámina 2, p. 21)  
*Paso uno:* determinar el punto *F* y apoyar el compás con una dimensión de diez pies de radio y trazar una circunferencia.

*Paso dos:* por el punto *F* pasar una vertical y donde corte al círculo tendrá el punto *G*, con la misma dimensión del compás hacer centro en *G* y trazar otro círculo con la unión de la recta *F-G*, la intersección de los dos círculos definirá la *vesica piscis*.

*Paso tres:* por el punto *F* trazar una recta que corte al círculo y será el diámetro de la figura *F*, por ese mismo punto prolongar la recta *G-F* hasta que corte el círculo de centro *F*.

*Paso cuatro:* unir las intersecciones verticales y horizontales que pasan por *F* y *G* tomando como referencia los puntos de intersección, unir las para formar un cuadrado. Unir los puntos *A-I*, *I-G*, *G-H*, Y *H-A* con los que se inscribirá un cuadrado en el círculo *F*.

*Paso cinco:* dividir la recta  $F-G$  en diez (pies) partes iguales. Haciendo centro en  $G$  trazar círculos concéntricos por cada una de las divisiones de la vertical, con las que se obtendrán diez intersecciones de cada lado del eje  $F-G$ , estas se referirán al punto  $A$ .

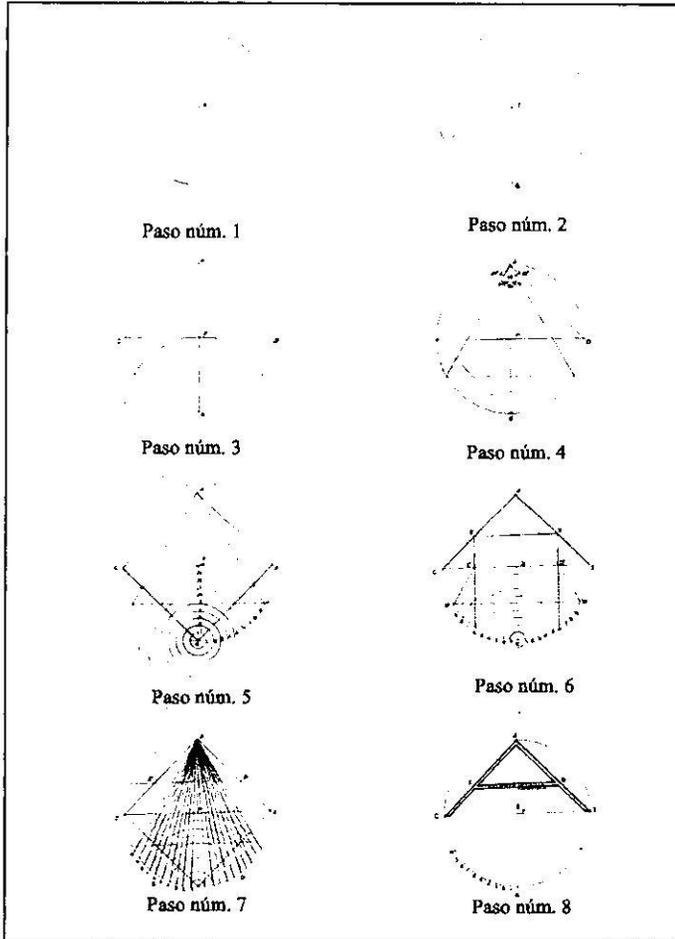


Lámina 2

*Paso seis:* la intersección que forma la *vesica piscis* corresponde al trazo de la división “diez-diez”, que unida horizontalmente constituye uno de los tres lados de un “triángulo equilátero” cuando se une en  $A$ . La

unión entre el punto *A* y las intersecciones de los círculos al círculo *F* tendremos un señalamiento de veinte marcas.

*Paso siete:* asimismo la intersección “seis-seis” si la referimos verticalmente y donde intercepta con las rectas *H-A* y *A-I* tendremos la posición de la traviesa donde determinaremos las (veinte) divisiones.

*Paso ocho:* trazar el “nivel de tranco” conforme a la sección de la madera utilizada y los ensambles correspondientes.

### *Comentarios finales*

Sería muy aventurado afirmar que el uso de los trazos propuestos se pusieron fielmente en práctica. Lo que sí se puede afirmar es que el principio de la intersección de dos círculos, en este caso la *vesica piscis*, sirve de matriz para determinar la cuadratura del círculo, respaldado por los testimonios gráficos de Euclides, Durero, San Miguel y Simón García, entre otros; así como para la subdivisión del cuadrado contamos con los modelos de Vitruvio, Lázaro de Velasco y Miguel Urrea, aplicados a las datas y al nivel.

Estos trazos se utilizaron durante todo el período virreinal y hasta los primeros años del siglo xx, según lo confirman las *Ordenanzas de Tierras y Aguas* de Mariano Galván de 1868 y los estudios realizados por Tony Loyola, en particular para Querétaro.

Quizá las obras más relevantes donde se emplearon estos trazos sea en los acueductos y las cajas de agua, de los cuales aun se conservan varios ejemplos. En cualquiera de estas construcciones que se analice siempre se encontraran aplicados estos principios en sus conductos y sistemas de repartición, principalmente materializados en las aberturas, caños y forámenes, ya sean rectangulares o circulares, y en cualquiera de los elementos que sirvan para el control de distribución de las aguas.