

Patrimonio, agua y arquitectura novohispana¹

Esta propuesta destaca el conocimiento de la relación entre el agua y la arquitectura, la cual debe considerarse como patrimonio a través de la definición de los contextos que hacen posible su suministro y destino en la determinación de actividades diagnósticas con las cuales poder establecer un código de diseño.

La exposición está estructurada de la siguiente manera: la *clase* está representada por la arquitectura hidráulica, con la presentación de un ciclo (el hidrológico); el *grupo* está manifiesto por dos funciones diagnósticas y específicas que hacemos del agua (aprovechamiento y desalojo); el *género* lo subdividimos en 10 actividades, ocho para la primera (captación, elevación, almacenamiento, conducción, control y distribución, energía y riego, aseo, higiene y limpieza, y comunicación) y dos para la segunda (protección y desalojo); el *tipo* lo hemos estimado con 60.

Definir metodológicamente cuáles podrían ser los fundamentos para determinar esta relación como patrimonio fue la de establecer la función sustantiva entre el agua y la arquitectura. Se procedió a vincular al oficial con el oficio, enlistando los que tuvieran relación con actividades relacionadas con el agua, y por otro los elementos o edificios con una vinculación directa o indirecta con fuentes de abastecimiento y destino que se les

¹ Ponencia presentada en el XXXI Symposium Internacional de Conservación del Patrimonio Cultural organizado por el Icomos México.

daría. Seleccionamos un vocabulario que tuviera como característica un lenguaje escrito y dibujado que fuera de tributo, y así elegimos en tres columnas palabras de árabe castellanizado, castellano y náhuatl.

Condiciones contextuales

Fuentes de abastecimiento

El agua utilizada por el hombre se encuentra en la naturaleza integrada en un todo a un proceso denominado ciclo hidrológico;² saber cómo se encuentra distribuido y —lo que es más importante— cómo aprovecharlo en sus distintas formas de presentarse, nos lleva a indagar las condiciones del medio ambiente natural y al conocimiento de los factores o fenómenos que lo producen.

Con su análisis, los datos que obtenemos nos inducen a considerar dos tipos de circunstancias o factores: fisiográficas (como la hidrografía, morfología, suelos y vegetación) y climáticas (como temperatura, humedad relativa, vientos y régimen de lluvias), y detectar cómo influyen en el ciclo, ya que éste —como veremos— será producto de la fuerza motriz provocada por la energía del sol y la gravitación terrestre, y que da lugar a las etapas de evaporación, condensación, precipitación, escurrimiento y filtración.

Las fuentes de abastecimiento del agua proporcionadas por la naturaleza se manifestarán como manantiales, lluvia, corrientes de ríos y arroyos, mantos subterráneos y depósitos en lagos y lagunas.

Regiones hidrológicas. Disposiciones legales

Durante el Virreinato novohispano el agua de los ríos, arroyos y manantiales que no fuera de los

² Véase Mark Lvovich, *El agua en el mundo: presente y futuro*, trad. de Floreal Mazia, Buenos Aires, Cartago, 1975, pp. 21-65.



Figura 1. Ciclo hidrológico.

indígenas pertenecían a la Corona de España, por lo que, para poder usarla se requería de su cesión, y es en el gobierno donde recaía esta responsabilidad, ya que a través de los antecedentes, tanto los locales como los que vinieron de ultramar, así como de la experiencia propia recabada en Nueva España, se fueron estructurando mecanismos legales para normar la distribución y la cantidad en que se debía repartir.

La población, villa o persona que pretendiera hacer uso de una fuente de suministro tenía que



Figura 2. Regiones hidrológicas de la República Mexicana.

pasar por cinco etapas: la solicitud o petición de una merced de agua; la verificación por funcionarios y vecinos; la repartición; la autorización y la toma de posesión.

La solicitud se debía hacer ante las autoridades por mediación del cabildo, especificando nombre, características y ubicación de la fuente solicitada, el propósito para el cual se deseaba utilizar (satisfactor primario, riego o fuerza motriz) o bien para poder canalizarla de sitios o lugares no deseados.

La investigación y la canalización de las peticiones recaían en los funcionarios de la Audiencia, los cuales dirigían a los representantes de los gobiernos de las provincias y localidades las solicitudes. El gobernador o corregidor 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, de la zona o del 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 cantidades de agua que se podían ceder.

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

de las condiciones de cesión de las mercedes de agua, podían estar como las más importantes: el de la fábrica y mantenimiento de las obras y el de construir fuentes públicas que se pudieran alimentar con las aguas remanentes de la cesión.

La última etapa del procedimiento para obtener por cesión una merced era el acto de toma de posesión, en donde la máxima autoridad de la población (alcalde mayor, corregidor o sus tenientes) entregaba la propiedad al beneficiario, quien tomaba oficialmente posesión de ella delante de testigos. Las solicitudes de mercedes para aguas están mencionadas en los documentos como aberturas, datas³ y tomas, que son medidas de orificios tanto rectangulares como circulares. El buey de agua era una perforación o abertura de una vara por lado; a su vez, ésta se dividía 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.⁴ “Un buey de agua se compone de 48 surcos ó 144 naranjas, ó bien de 1 152 reales ó de 20 736 pajas.”⁵

Como referencia se citarán algunas cantidades mercedadas: para el abastecimiento de una población, éstas podían ser de 24 surcos o el equivalente a un cuarto de buey de agua, para accionar un molino de trigo: ocho surcos, para el riego de una caballería de tierra cultivada de caña de azúcar: cuatro surcos, para una de trigo y maíz: tres surcos; asimismo, para hacer funcionar un batán.

La revisión de las ordenanzas de Tierras para la ciudad de México de 1567 y la copia del siglo XIX

³ Martín Alonso, *Enciclopedia del idioma*, Madrid, Aguilar, 1982. 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, etcétera.

⁴ Iris Santacruz Fabila y Luis Jiménez-Cacho García, “Pesas y medidas”, en *Siete ensayos sobre la hacienda mexicana 1780-1880*, México, INAH (Científica, 55), 1977, pp. 21-65.

⁵ Mariano Galván Rivera, *Ordenanzas de tierras y aguas*, México, Archivo Histórico del Agua, Registro Agrario Nacional/CIESAS, 1998, p. 254.

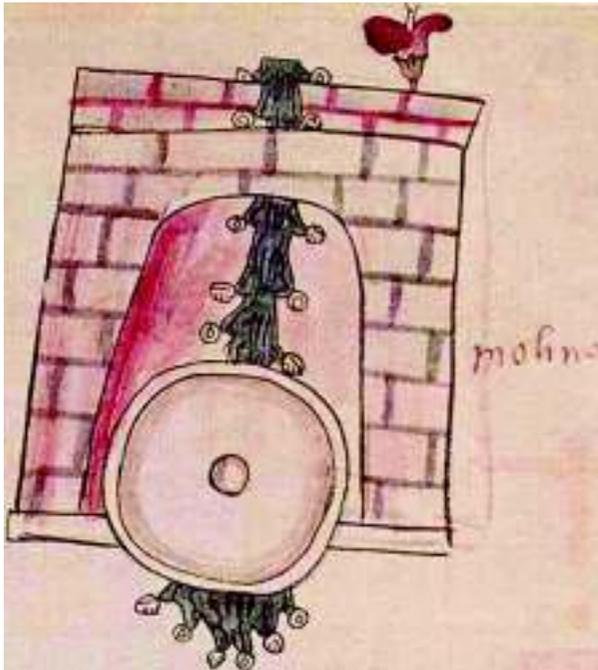


Figura 3. Molino. Codex Kingsborough. Memorial de los Indios de Tepetlaoztoc.

de las de tierras y aguas de Mariano Galván, así como las de Sevilla de 1657, tienen en común presentar las aberturas, datas, tomas o forámenes con una forma circular o cuadrada.

Asimismo nos dan, por un lado, notaciones aritméticas para convertir una data cuadrada en una circular y, por otro, resúmenes geométricos para lograr esto mismo.

Si la forma geométrica del orificio fuera circular, tendría que ser de una vara más cuatro pulgadas, más 11 líneas más 11 puntos: la equivalencia para un buey de agua. El surco de agua o cuarta sería de cinco pulgadas y 11 líneas. La naranja de agua le corresponde un diámetro de tres pulgadas y cinco líneas. La paja tendrá un diámetro de cuatro líneas y 10 puntos.⁶

Si no tenemos los marcos de medida establecidos para determinar una dimensión, estas cantidades fraccionarias y difíciles de manejar se pue-

⁶ Francisco de Solano, *Cedulario de Tierras (1497-1820)*, México, IJ-UNAM, 1984, pp. 207-208.

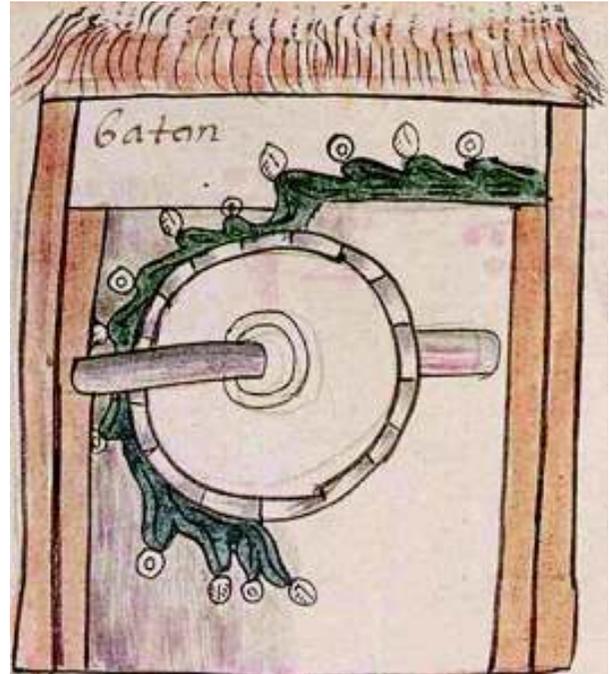


Figura 4. Batán. Codex Kingsborough. Memorial de los Indios de Tepetlaoztoc.

den obtener por la cuadratura del círculo, el área de un cuadrado conocido igualarlo al área de un círculo: el lado igual a ocho partes, el diámetro tendrá que ser de nueve; si el diámetro es igual a ocho partes, la diagonal del cuadrado será igual a 10 partes.

Si del buey de agua (perforación o abertura cuadrada de una vara por lado) pretendo obtener un surco, debo hacer una subdivisión en 48 partes; lo más sencillo es dividir uno de los lados (el vertical) en ocho partes o *jemes*, y el otro (el horizontal) en seis partes o *sesmas*. Mas si lo hiciera por otro camino, tendría que dividir el cuadrado de una vara por una vara en tres partes, y esta tercera parte $1/3$; y dividiendo ésta en cuatro mitades, $1/6$, $1/12$, $1/24$ y $1/48$. Si se divide el surco en tres nos resulta una naranja, y cada naranja dividida en dos mitades $1/2$ y $1/4$, lo que da ocho limones o reales, el limón en dos dedos, el dedo en nueve pajas o en 16 granos.⁷

⁷ Iris Santacruz Fabila y Luis Jiménez-Cacho García, *op. cit.*

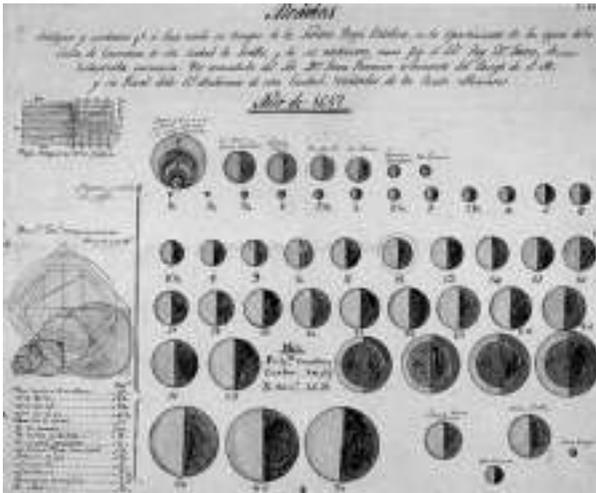


Figura 5. Medidas de los caños de Carmona para la ciudad de Sevilla, 1657. Archivo General de Simancas, M y D, 168, en Catálogo de la Exposición Obras Hidráulicas en América colonial, Madrid, CEHOPU, 1994.

Oficios para el agua

El eje de articulación será el agua por un lado, y por otro la arquitectura; en medio de estas nociones, los oficios para buscar, nivelar, almacenar y controlar el agua, mismos que darán razón de ser a hechos arquitectónicos y actividades específicas de aprovechamiento y protección.

Las grandes construcciones hidráulicas —o como en el virreinato se llamó “obras públicas”— para cualquier asentamiento o unidad productiva pueden ser el abastecimiento, así como el drenaje de las aguas no utilizadas y la defensa contra posibles inundaciones, y fueron en su promoción, diseño y mantenimiento donde se involucraron varios oficios. De los documentos consultados se pudieron obtener oficios relacionados con el agua; dichos oficios lo dividimos jerárquicamente en tres grandes grupos: los de amplio dominio, los de actividades específicas y los que fueron asignados por una autoridad.

Intentaremos pasar del *çaurí* o buscador del agua a los cosmógrafos, y de éstos a los que elaboran cartas —como los cartógrafos—, de allí a los filósofos, arquitectos e ingenieros, y de éstos al frontero o fon-

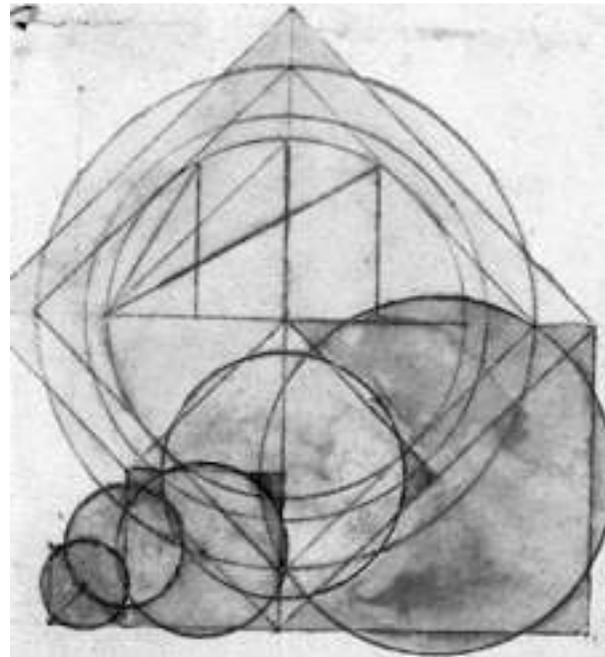


Figura 6. Trazo de datos para el agua, en Medidas de los caños de Carmona para la ciudad de Sevilla, 1657. Archivo General de Simancas, M y D, 168, en Catálogo de la Exposición Obras Hidráulicas en América colonial, Madrid, CEHOPU, 1994.

tanero, geómetras diseñadores y trazadores especializados para verificar el peso (nivel) del agua; asimismo involucraremos en este estudio a los alarifes del agua y a los diseñadores constructores de instrumentos. Por otra parte intentaremos hablar de los aguadores dedicados al transporte del agua, a los que dan el mantenimiento y la operatividad, así como servir de “guardas” a los sistemas, y por último trataremos brevemente de involucrar a los “poceros” como especialistas en mantener en condiciones de utilización a las letrinas o secretas.

Çaurí. Los especialistas involucrados o “buscadores de agua” dedicados a localizarla van desde el filósofo, arquitecto, frontero hasta el *çauríe* o fontanero. Por los medios de que se valen, y sobre todo por los instrumentos utilizados, los podemos dividir en dos grupos: 1) los que disponen para su localización del sentido de la vista y el agua se manifiesta de sí misma, y cuando por señales exte-

Tabla 1. Oficios

<i>Amplio dominio</i>	<i>Actividades específicas</i>	<i>Cargos asignados^a</i>
Filosofía	Aquiliges o Aquilices ^b	Azulero ^c
Geometría	Alamín y Alarife ^d	Alarife del agua
Cosmografía	Cartógrafo	Alguacil del agua
Arquitectura	Cosmógrafo	Alguacil de la obra del agua
Ingeniería	Geomántico	Alguacil mayor de las obras del agua
	Rabdomancia	Alguacil ejecutor de la albarrada
	Fontanero	Comisario del agua
	Frontero ^e	Comisario obrero del agua
	Hidromensor	Comisario obrero para casos del agua
	Transporte del agua (Aguador o açacan)	Cosmógrafo real
	Conservación del agua	Diquero ^f
	Albañilería	Guarda del agua
	Limpieza (Pocero)	Indios del agua
	Carpintero de lo prieto (Constructor de instrumentos e ingenios de madera)	Maestro de aguas
	Inspector general de las aguas (<i>Curator aquarum</i>) ^g	Maestro de obras del agua
		Maestro de la cañería
		Naguatlato del agua
		Obrero mayor del agua
		Oficial del agua
		Oficial de las obras del agua
		Portero de la albarrada
	Sobrestantes de las obras del agua	
	Veedor de las obras del agua	
	Veedor de las obras de encañado	
	Veedor de las mezclas y materiales del encañado	
	Visitador del caño del agua	
	Repartidores del agua	

^a Raquel Pineda Mendoza, *Origen, vida y muerte del Acueducto de Santa Fe*, México, IIE-UNAM (Estudios y Fuentes del Arte en México, LV), 2000.

^b Mariano Galván Rivera, *Ordenanzas de tierras y aguas*, México, Archivo Histórico del Agua, Registro Agrario Nacional/CIESAS, 1998, p. 266. Peritos de nivelar y conducir las aguas. A los oficiales les llaman Hidromensores y la ciencia y/o oficio Hidrométrica o Hidrogógica.

^c Nicolás García Tapia, *Ingeniería y arquitectura en el Renacimiento español*, Salamanca, Secretariado de Publicaciones Universidad de Salamanca/Caja de Salamanca, 1990, p. 510. Alamín: Oficial que contrastaba las pesas y medidas; alarife o perito; Juez de riegos.

^d *Los Veintitún Libros de los Ingenios y Máquinas de Juanelo Turriano*, transc. del manuscrito, con pról. de Pedro Laín Entralgo y reflexiones de José Antonio García-Diego, Madrid, Fundación Juanelo Turriano/Doce Calles/Biblioteca Nacional, 1996, p. 137.

^e Frontino, *Los acueductos de Roma*, ed. crítica y trad. de Tomás González Rolán, Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1985, p. XVII.

^f Nicolás García Tapia, *Ingeniería y arquitectura en el renacimiento español*, Valladolid, Secretariado de Publicaciones Universidad de Valladolid/Caja de Salamanca (Historia y Sociedad, 11), 1990, p. 513. Azulero: El que cuida el azud.

^g *Ibidem*, p. 516. Diquero: Especialista en construcción de diques o pequeñas presas.



Figura 7. Buscador de agua, en *Los Veintiún Libros de los Ingenios y Máquinas de Juanelo Turriano*, transc. del manuscrito, con pról. de Pedro Laín Entralgo y reflexiones de José Antonio García-Diego, Madrid, Fundación Juanelo Turriano/Doce Calles/Biblioteca Nacional, 1996.

riores se puede hallar, cavando pozos, el agua escondida, y 2) los que se sirven de un instrumento que provoca una señal que da la posibilidad, cavando pozos, de localizar agua subterránea.

Los indicios o señales que resultaban de las actividades anteriores, determinaban mediante la observación sistemática “en los lugares donde fe vieren falir vapores efefos, que fe levanten en el ayre”,⁸ “[...] y donde se veran levantar unos vapores ‘o exalaciones en alto de tierra”,⁹ “el crecimiento y particularidades de plantas, si son o no de humedad y que puedan estar más verdes unas que otras, asimismo donde habiendo mosquitos que van en grande bulto juntos”.¹⁰

El segundo grupo es el de los especialistas que se apoyan en el oficio de la Rabdomancia,¹¹ por lo que a sus oficiales se les conocía como *çahoríes*, individuos capaces de descubrir yacimientos de aguas subterráneas —alumbrar— por medio de una varita.

Aguador. Persona que sirve para acarrear agua y da mantenimiento a las fuentes; estos servidores estaban agrupados en un gremio que servía para regularizar su número; los implementos que los distinguen son la gorra de piel en lugar de sombrero, los cueros,

⁸ Marco Vitruvio Polión, *De Architectura, dividido en diez libros, traducidos del Latín en Castellano por Miguel de Urréa Architecto, y sacado en su perfección por Juan Gracián, impresor, vecino de Alcalá*, Alcalá de Henares, Juan Gracián, MDLXXXII, f. 102r.

⁹ *Los Veintiún Libros de los Ingenios y Máquinas de Juanelo Turriano*, ed. cit.

¹⁰ *Ibidem*, fs. 22v y 23r.

¹¹ La Rabdomancia se puede definir como el arte de detectar las fuentes de aguas subterráneas gracias a la utilización de un instrumento, la varita, utilizado por los zahoríes.

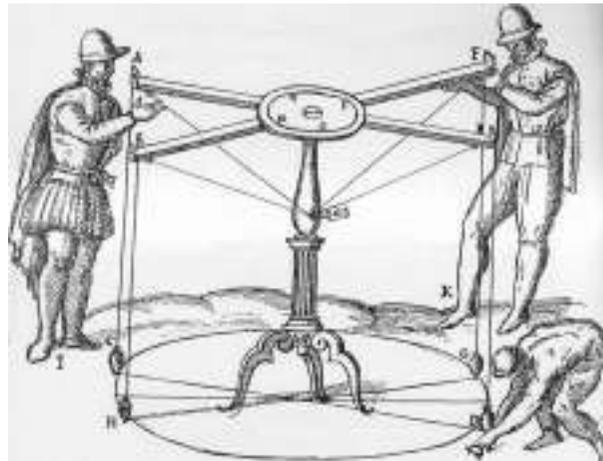


Figura 8. Geómetras, en *Los Veintiún Libros de los Ingenios y Máquinas de Juanelo Turriano*, ed. cit.

el chochocol y otro cántaro que llevaba al frente y pendiente del cuello de gruesas correas y que servía para hacerle contrapeso a la carga que llevaba en la espalda.

Geómetra. La búsqueda del uso, y sobre todo del significado, de las palabras con el que se designa a estos oficiales en tratados y documentos, tales como la *Recopilación de las Leyes de Indias*, ordenanzas de constructores, actas de nombramiento, así como de algunos vocabularios y diccionarios especializados, nos dieron la pauta para no conformarnos sólo con una definición etimológica que hemos venido repitiendo durante mucho tiempo, que es la de “medidor de tierra”.

La palabra viene de la raíz griega $\gamma\eta$, “tierra”, y $\mu\epsilon\tau\rho\nu$, “medida”, así como de la latina *geómetres*: “agrimensor”, “geómetra” y/o de *geometricus*.

Geométrico. Encontramos la denominación en dos tratados de carpintería del siglo XVII, el de fray Andrés de San Miguel y el de Diego López de Arenas; ambos mencionan la palabra *jumétrico*,¹²

¹² Eduardo Báez Macías, *Obras de Fray Andrés de San Miguel*, México, IIE-UNAM, 1979, p. 110; Diego López de Arenas, *Breve compendio de la carpintería de lo blanco y tratado de alarifes* [Se-

y la definen como un equivalente al grado máximo que se podía alcanzar como oficiales tracistas de la “carpintería de lo blanco”.

*Cosmógrafo. cofmographus. geographus.*¹³ De las raíces griegas *Κοσμος*, “lo ordenado”, y *γραφη*, “descripción”; “el que describe lo ordenado”.

Así por ejemplo, destacar la función o la actividad por formación y preparación del cosmógrafo en el Consejo Real de las Indias y en la Casa de Contratación de Sevilla, tanto en la factura de patrones (cartas de marear) y de instrumentos de navegación:

El Cosmógrafo, que como catedrático leyere la Catedra de Matemáticas.

El año segundo desde principio dél hasta fin de Febrero, ha de leer los seis primeros libros de Euclides: y desde primero de Março hasta fin dél lea arcos y cuerdas, senos rectos, tangentes y secantes: y hasta fin de Abril el libro cuarto de los Triángulos Esferales de Joan de Monte Regio: y desde principio de Mayo hasta las vacaciones, lo que alcançare, del Almagesto de Ptolomeo.¹⁴

Tlaltamachihuani. Palabra nahua que se traduce como agrimensor, geómetra.¹⁵ Una traducción basada en sus raíces daría una definición literal como “el que mide la tierra, o algo como el agua de un campo o propiedad”.

villa, Luis Estupiñán, 1633], 1982, Valencia, Albatros (Colección Juan de Herrera, dirigida por Luis Cervera Vera, 8); Enrique Nuere, *La Carpintería de Lazo. Lectura dibujada del manuscrito de Fray Andrés de San Miguel*, Málaga, Colegio Oficial de Arquitectos de Andalucía Oriental, 1990, pp. 125, 286, 290.

¹³ Elio Antonio de Nebrija [Salamanca, ca. 1495], *Vocabulario español-latino*, Madrid, Real Academia Española, 1951.

¹⁴ *Recopilación de leyes de los reynos de Las Indias, 1681*, México, Miguel Ángel Porrúa, 1987, Libro II, Título XIII, Ley V, f. 186.

¹⁵ Rémi Siméon, *Diccionario de la Lengua Nahuatl o Mexicana*, trad. de Josefina Oliva de Coll, México, Siglo XXI, 2002. Define *tlaltamachihuani* por el significado de sus raíces *tlalli*, que significa tierra, campo, propiedad, y de *tamachiua*, que es medir, pesar algo.

Agrimensor. En las ordenanzas de albañiles de 1599 para la ciudad de México, se destaca que uno de los requisitos para el ejercicio del oficio de la agrimensura es que el oficial sepa de regla y compás, así como estar avalado por una carta de examen donde se pruebe que su práctica es suficiente y su habilitación legal.

Instrumentos. Es importante destacar que en este apartado sólo vamos a tratar el conocimiento de tres instrumentos: la varita para localizar agua subterránea y de dos de nivel (ordinario y cuadrado geométrico) usados por los especialistas en Nueva España, y mediante la deducción de sus patrones entender la relación entre el agua y la arquitectura.

La varita del çaurí

El instrumento utilizado por el buscador de agua (*zahorí*) debía tener una forma y características determinadas; podía ser una horquilla¹⁶ o una rama bifurcada,¹⁷ flexible y deformable; no debía tener crispaciones, ser natural (de madera de avellano joven,¹⁸ pirul, sabino o de ahuehuate) o bien artificial, fabricada con dos ramitas de rota de seis milímetros de diámetro y 45 centímetros de longitud, atadas juntas de un extremo.¹⁹

Los procedimientos usados para la detección se reducen a la manera de tomar el instrumento y las señales que éste pueda transmitir. El sostenimiento de la varita es con ambas manos, dejando los meñiques en posición vertical hacia el interior, presionando con los pulgares las puntas; asimismo, se deben tener los antebrazos casi horizonta-

¹⁶ Claudio Mans Teixidó, *El agua, cultura y vida*, Barcelona, Salvat (Aula Abierta Salvat, 35), 1984, p. 35.

¹⁷ Véase Yves Rocard, “La señal del Zahorí”, en *Mundo Científico*, núm. 7 (*La Recherche*, versión en castellano), 1981, pp. 708-716.

¹⁸ *Ibidem*, p. 708.

¹⁹ *Idem*.



Figura 9. "La physique occulte del Abad Vallemont", de 1692. Yves Rocard, *op. cit.*

les, con las palmas de las manos hacia arriba y ejercer una presión hacia fuera para que se deforme.²⁰ El recorrido se debe llevar a cabo con mucho cuidado y concentración, hasta que el extremo de la horquilla comience a vibrar y se incline hacia el suelo.²¹

La verificación científica se reduce a un reflejo geomántico,²² provocando en el operador sensaciones extrañas (por ejemplo, en las que sus manos son incapaces de sostener el instrumento al comenzar a vibrar la varita), lo que significa que se llegó a una zona donde puede existir agua;²³ es prudente aclarar que la varita no detecta el agua sino un cambio en el campo magnético terrestre, que es lo que produce la tal señal.²⁴

Con el mismo principio magnético que el de la horquilla, existe otro dispositivo que da lugar a un

²⁰ *Ibidem*, p. 710. Apoyados en el gráfico de la portada y en otros dos grabados se realizó la presente descripción.

²¹ Claudio Mans Teixidó, *op. cit.*, p. 35.

²² Yves Rocard, *op. cit.*

²³ *Idem*.

²⁴ *Idem*.

reflejo geomántico, tal es el caso del péndulo,²⁵ y a cuyos operadores se les conocían como basilogiros.²⁶ Fue descubierto y usado a principios del siglo XIX y se supone da vueltas espontáneamente cuando debajo de él existe agua; la causa física que provoca la rotación cónica es debida al campo magnético terrestre, influyendo sobre los músculos del que lo maniobra y el péndulo vuelve a adquirir una posición vertical. Si la persona permanece en esa misma área provoca un ligero temblor en la mano del que sostiene el péndulo.²⁷

La palabra "nivel" viene del italiano *nivello*, y éste a su vez del latín *libella*, diminutivo de *libra*; le dan el significado de "peso" y "balanza".²⁸ Procede de dos palabras latinas *libramentum* y *perpendicularum*;²⁹ ambas sirven para denominarlo; así, tenemos que libra indica peso, romana, balanza, plomada y nivel. El sentido de *libramentum* es el de equilibrio establecido por el balance de dos objetos del mismo peso con una balanza; el de *perpendicularum* es la de un peso colgado o "plomada".

| 27

Nivel ordinario

El nombre, propuesta de diseño y construcción de este nivel ya aparece en la obra de fray Andrés de San Miguel. Para averiguar su patrón geométrico recurrí a *Los veintitún libros de los ingenios y máquinas de Juanelo Turriano*,³⁰ así como a otras obras que indicaran una aproximación a ese conocimiento, en-

²⁵ Yves Rocard, "¿Un sexto sentido? La percepción del campo magnético", en *Mundo Científico*, núm. 34, 1984, pp. 316-318.

²⁶ Lucas Tornos, "Conocimientos indispensables para establecer pozos o norias con aguas firmes", en *Revista Agrícola*, t. V, México, Secretaría de Fomento, 1890, p. 188.

²⁷ Yves Rocard, *op. cit.*, 1984, p. 317.

²⁸ Fernando García Salinero, *Léxico de Alarifes de los Siglos de Oro*, Madrid, Real Academia Española, 1968.

²⁹ Elio Antonio de Nebrija, *Vocabulario Español-Latino*, copia facs. de la ed. de Salamanca (¿1495?), Madrid, Real Academia Española, 1951.

³⁰ *Los veintitún libros...*, *op. cit.*

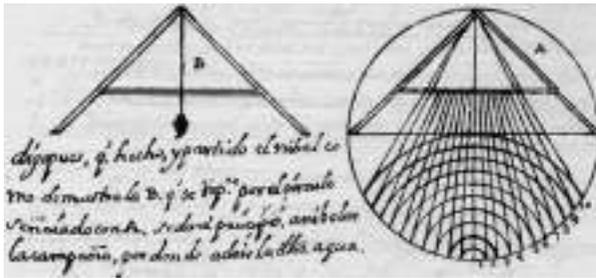


Figura 10. Nivel, en Simón García, *Compendio de Architectura y Simetria de los Templos*, estudios introductorios de Antonio Bonet Correa y Carlos Chanfón Olmos, ed. facs. de 1681, Valladolid, Colegio de Arquitectos de Valladolid, 1991, f. 123.

contrando su analogía en niveles como *tranco*,³¹ *peso*³² y *cuadrante*.³³

Cristóbal de Rojas, en el Capítulo XXIII *De la fábrica y distribución de un nivel para encaminar las aguas*, describe un nivel de 20 pies de hueco entre las dos puntas y 10 pies de alto, como algo muy necesario para el ingeniero.³⁴ Andrés García de Céspedes, cosmógrafo mayor del rey, en *Libro de instrumentos*,³⁵ capítulos XII-XVIII, explica la fábrica y el fundamento matemático para la construcción de un nivel a partir de una circunferencia de 10 pies de diámetro.³⁶

Cuadrado geométrico

Instrumento semejante en funcionamiento y principios al cartabón. Cartabón se denomina en griego *gnomon*³⁷ y en latín, al de carpintero, *umbilicus*.³⁸

³¹ *Ibidem*, Libro Cuarto, f. 50r.

³² Diego López de Arenas, *op. cit.*, f. 49v.

³³ Eduardo Báez Macías, *op. cit.*, p. 223.

³⁴ Vicente Maroto y Esteban Piñeiro, *Aspectos de la ciencia aplicada en la España del siglo de oro*, Junta de Castilla y León, Consejería de Cultura y Bienestar Social, 1991, p. 502.

³⁵ Andrés García de Céspedes, *Libro de instrumentos nuevos de Geometría muy necesarios para medir distancias, y alturas, sin que interuengan numeros como se demuestra en la practica: demas desto se ponen otros tratados, como es vno, de conduxir aguas, y otro vna question de artilleria, en donde se ponen algunas demostraciones curiosas/por...*, Madrid, 1606.

³⁶ Vicente Maroto y Esteban Piñeiro, *op. cit.*, p. 500.

³⁷ Antonio de Nebrija, *op. cit.*

³⁸ Fernando García Salinero, *op. cit.*, Cartabón (Art. y Of.). Tabli-

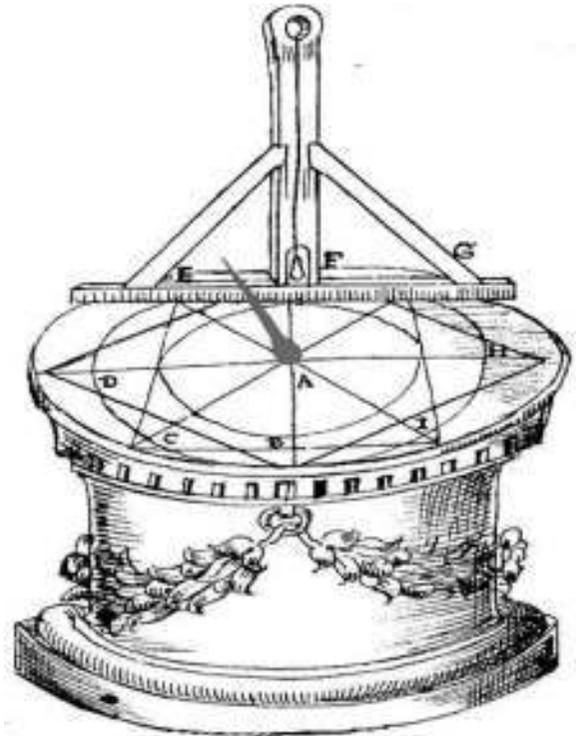


Figura 11. Demostrador de sombras. Libro Primero, Capítulo VI, de Marco Vitruvio, *Los X Libros de la Arquitectura*, según la trad. castellana de Lázaro de Velasco, estudio y trasc. de Francisco Javier Pizarro y Pilar Mogollón Cano-Cortés, Cáceres, Cicon, 1999.

En el siglo I, la noción de los geómetras griegos del *gnomon* es la de un demostrador de sombras, sirviéndose del conocimiento de la relación entre la posición del sol, sobre todo de la sombra que producía un objeto vertical (*eftylo* de metal,³⁹ agu-

lla en forma de triángulo, rectángulo que sirve para tomar medidas y para los cortes de piedras y maderas.// Figura de dicho instrumento. 1601. Francisco del Rosal, *Diccionario etimológico: primero de origen y etimológico de todos los vocablos originales de la lengua castellana*, ed. facs. de fray Miguel Zorita..., 1758, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (Biblioteca de Filología Hispánica), 1992, p. 88: "Cartabón dicen ser Arab. Y que suena lo mismo que quarte del círculo. Yo tengo que es Cartabona. q? así llama el it. Al famoso y excelente pergamino"; 1632.- D. L. Ar. (1867), 41: "[...] Todos los triángulos o cartabones se componen de tres líneas que geoméricamente se dizen Cathecus". Etim. según Vicente García Diego, *Etimologías hispánicas*, Madrid, Aguilar, 1964, del it. *quarto bono*; para Joan Corominas y José A. Pascual, *Diccionario crítico etimológico castellano e hispánico*, Madrid, Gredos, 1980: del lat. *quartus* pasó al verbo *cat. escartar*, y de allí *escartabont*; para este último autor, se halla cartabón ya en las obras de Alfonso el Sabio, *ca.* 1256.

³⁹ Marco Vitruvio, *op. cit.*, fs. 16v y 17r.

ja de bronce o de hierro⁴⁰) denominado *scothiras* o *gnomó*⁴¹ (γνομων). En la práctica sirvió para definir los trazos en la división y limitación de círculos y cuadrados para determinar la dirección de los vientos, o la del diseño y construcción de un instrumento de nivel.

La figura de tal instrumento (*gnomon*) es la de una escuadra o cartabón formada por dos rectas, la horizontal, nivel, amufo⁴² o losa de mármol, y la vertical, por el perpendicular o abujón (varilla), formando un ángulo recto.

El cuadrado geométrico tiene como principio lograr construir un triángulo semejante al formado entre el punto de observación y los extremos de la longitud que se deseaba medir; su uso era para determinar la dimensión de líneas derechas a nivel y donde se pudieran distinguir alturas y profundidades. Oroncio Fineo,⁴³ en su obra *Geometría Práctica*, hace la siguiente descripción:

Con una buena madera se hacen cuatro reglas iguales de medio pie de ancho (14 cm) y dos o tres codos de largo (84-126 cm) uniéndolas en ángulo recto siendo paralelas entre sí.⁴⁴

Detalla su construcción, precisando cómo se harán las divisiones de 60 partes iguales; de los dos lados CD y CB trae la descripción de su construcción: que se numerarán tal como indica la figura a la regla AF, igual a la que se usa en el astro-

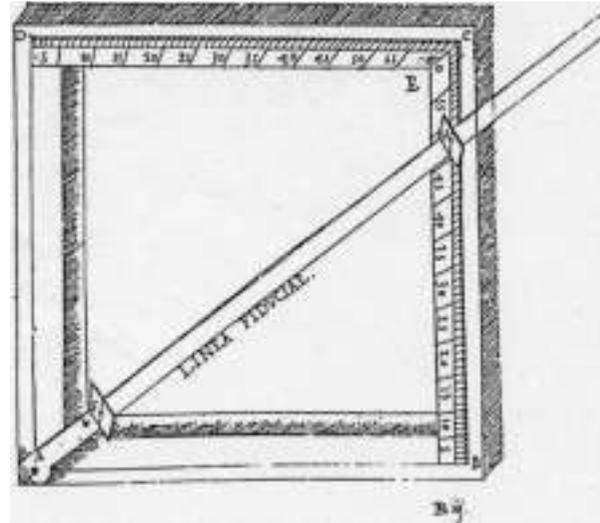


Figura 12. Cuadrado Geométrico de Oroncio Fineo 1553. En Jerónimo Girava y Pedro Juan de Lastanosa, trads., *Los dos libros de Geometría práctica de Oroncio Fineo*, 1553, p. 63.

labio; la llama señalador y será al menos tan larga como la diagonal AC.

En ella se han de asentar dos pinacidos o tablillas muy sutilmente agujeradas: de manera que los agujeros estén en derecho de la línea que llamamos fiducial o fiel, que en nuestra figura están señalados por las letras G y H. Esta regla debe poder moverse, girando sobre el punto A, a fin de poder señalar cualquier punto de las dos reglas CD y CB.⁴⁵

Aprovechamiento

*Captación.*⁴⁶ Para esta actividad tenemos como ejemplos de sistemas generales el diseño y la construcción de las *ínsulas* o *albercas* (1); sirven para captar las aguas de los manantiales; si son para modificar y/o controlar el agua de una corriente superficial *partidores*, *represas*, *arcas de agua* (3) y *cajas de agua* (5). Si la fuente donde procede es de escurrimiento, *balsa* (4) filtración o de un depósito subterráneo son las *galerías filtrantes* (7) y los *pozos* (10). Y si de agua de lluvia los *jagüeyes* (9), *aljibes* (2), *chultunes*

⁴⁰ Vitruvio Pollion, *Los X Libros de Architectura*, facs. de la versión de Miguel de Urrea, Impre??o en Alcalá de Henares por Juan Gracian, 1582, Valencia, Albatros (Colección Juan de Herrera, dirigida por Luis Cervera Vera), 1978, f. 16v.

⁴¹ *Idem*.

⁴² *Idem*, en *Vocabulario de Lebrija*, *op. cit.* Regla de carpintero *amuuffis*.is. *Amussis* -is. regla, nivel. // fig. *ad amussim*, exactamente; en Joan Corominas y José A. Pascual, *op. cit.*, *Amuso*, "losa de mármol sobre cuya superficie se trazaba una rosa de los vientos; del lat. *Amusis*, regla escuadra".

⁴³ Nicolás García Tapia, *Pedro Juan de Lastanosa, El autor aragonés de los veintitún libros de los ingenios*, Huesca, Instituto de Estudios Altoaragoneses/Diputación de Huesca, 1990, p. 29.

⁴⁴ Vicente Maroto y Esteban Piñeiro, *op. cit.*, pp. 247-251.

⁴⁵ *Ibidem*, pp 352-353.

⁴⁶ Véase el apartado "Arquitectura hidráulica", pp. 43-50.

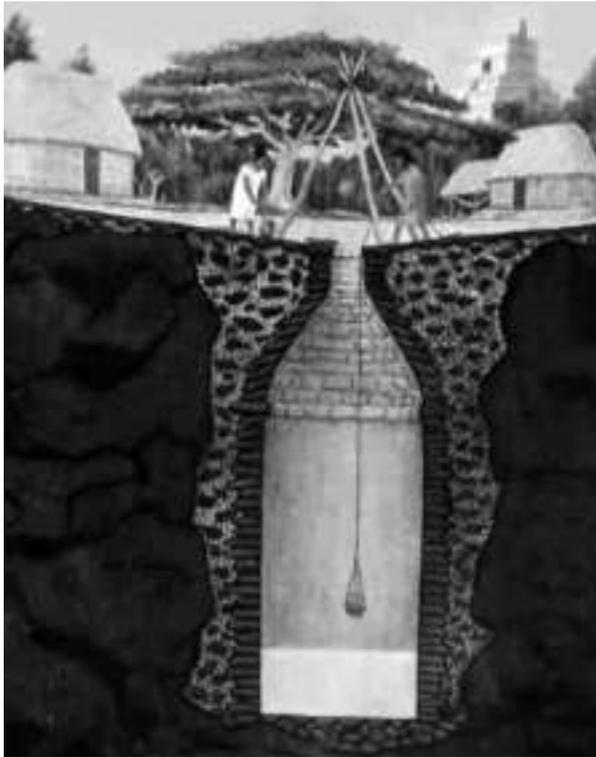


Figura 13. Chultún.



Figura 14. Compuerta de un molino en Chihuahua.

(6) en la península de Yucatán así como las *cisternas* (8).

Ejemplos de los sistemas particulares de superficies de captación se pueden mencionar soluciones como los *pisos*, *pavimentos* de patios y *azoteas*, así también elementos que puedan servir de accesorios como *coladeras*, *rejillas*, *datas* y *compuertas*.

Pozos

Son perforaciones verticales fabricadas artificialmente para obtener agua procedente de un manto subterráneo, por lo que su función es la de captar agua y hacer de depósito provisional, y con una máquina simple cambiarla de nivel para utilizarla en actividades diversas. Su ubicación obedece plenamente a condiciones contextuales: de las naturales, debe existir bajo ellos un depósito o corriente subterránea para alimentarlo, y de las culturales,

preferentemente deben estar cercanos a la actividad donde el agua sea necesaria y que ofrezcan seguridad, control y servicio. Todo esto aunado a que deben regirse por ordenanzas, legislación que autorice su perforación y a la persona habilitada para realizarlo; estos pozos se pueden localizar en espacios cubiertos o descubiertos.

La planta o la proyección horizontal de los pozos está determinada invariablemente por el círculo, aunque puede haber excepciones y ser oval o cuadrado. Una solución tipo consta de dos partes: 1) la que está sobre el nivel del suelo y que es donde se localizan el brocal, la estructura para sostener el sistema de elevación y en algunos casos los elementos que cubren todo el conjunto, y 2) la que se ubica bajo el nivel de la superficie; donde la perforación vertical o tiro y el espacio que sirve para captar-contener el agua hace las funciones de *cárcamo*, para que siempre se mantenga con agua.

La construcción de un pozo debe pasar por resolver dos dificultades técnicas: 1) la elección del sitio, y 2) la de su proceso constructivo. La primera consiste en elegir el lugar más idóneo, y su responsabilidad recae en los “buscadores de agua”. La segunda pasaba recurrentemente por seis procesos: la excavación (exploratoria y definitiva), la de



Figura 15. Brocal de pozo de una hacienda de Tlaxcala.

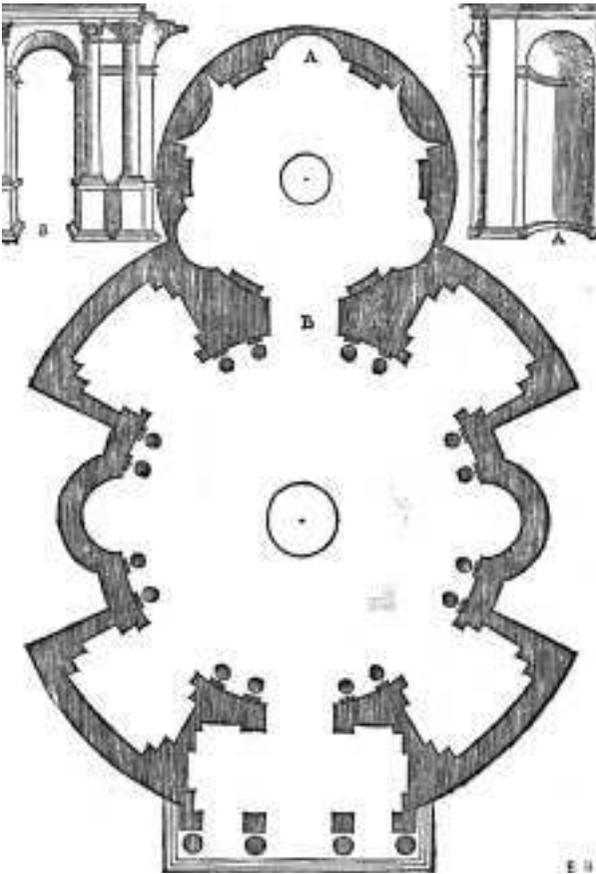


Figura 16. Dibujo de Sebastiano Serlio Boloñés, *Tercero y Cuarto Libro de Arquitectura...* en los cuales se trata de la manera de cómo se pueden adornar los edificios: con los exemplos de las antigüedades, Agora nuevamente traducido de Toscano en Romance Castellano por Francisco de Villalpando Architecto. Dirigido al muy Alto y Poderoso Señor Don Philipe Principe de España, Nuestro Señor, Toledo, Casa de Iván de Ayala, 1552, Libro III, f. XVIII.

la contención de las paredes del tiro, el asentamiento o cimentación de la caldera, la fabricación del brocal y la construcción de la obra para sostener las poleas o la cubierta.



Figura 17. Dibujo de la planta del Pocito de la Villa de Guadalupe, México, D. F., en Víctor Manuel Villegas (ed.), *Tercero y Cuarto Libro de Arquitectura de Sebastián Serlio Boloñés*, México, UAEM, 1978, Estudio introductorio.

Almacenamiento.⁴⁷ Las soluciones a los sistemas generales de esta actividad tienen a las *presas acudadas* (12) y a los *jagüeyes* y las *aguadas* (13) de Yucatán como sus ejemplos más representativos; no podemos dejar de considerar las neveras, como las de Cataluña, las *cajas de agua* (14) (alimentadas por las crecidas de los ríos), *depósitos* (15) y a los *tanques elevados* dentro de este grupo. De los sistemas particulares —y que sólo tienen un almacenamiento provisional— hemos considerado las *cajas de agua y/o repartición*, las que están al pie de los acueductos, *abrevaderos* (11), *piletas* y *tinajeros*.

⁴⁷ *Idem*.

Jagüeyes

Son recipientes que no son naturales, en los que se aprovecha la topografía del terreno, así como sus cualidades impermeables y mecánicas e impermeables para la captación de agua, pero sobre todo para su almacenamiento más o menos provisional, ya que cada temporada se trata de renovar.

Estas obras las vamos a localizar relacionadas a sitios donde las alternativas de obtener agua se ven limitadas al régimen de lluvias y al almacenamiento de agua. Estas construcciones están determinadas por una topografía específica, así como por unos suelos aptos para el escurrimiento y que puedan ser lo suficientemente impermeables para tener la capacidad de contenerla. En lo cultural, estos edificios van a surgir cuando los recursos políticos, económicos y técnicos se enfocan a resolver un problema de abastecimiento de agua.

Si su cometido específico es el almacenamiento del agua para hacer uso de ella de una manera constante en periodos o en épocas en que pueda faltar (tiempo de secas), ya sea para una actividad productiva o para usos definidos. No olvidando que almacenamientos prolongados hacen que el agua pierda cualidades, por lo que es imprescindible su constante renovación.

Generalmente constan de cinco partes: la superficie colectora, el depósito o taza, el dique o cortina, la compuerta y el medidor de nivel. Siendo el agua de lluvia la principal fuente de abastecimiento, y en algunos casos el agua de remanentes o de manantiales, la captación del agua depende para estas soluciones de la constitución de los terrenos, de los suelos y de la vegetación, factores determinantes en la decisión de su construcción, siendo las cuencas y barrancas los lugares más aptos para el surgimiento de estas edificaciones.

El sitio donde estará el depósito debe reunir condiciones de permeabilidad y de capacidad, esta última determinada con las observaciones pluviométricas, con las que se obtenía una media; a ésta

se le deducía entre 35 y 50% de agua utilizable, debido a la pérdida por evaporación o por filtración al terreno; también podían ser considerados los posibles años de sequía.

El dique o cortina, elemento fundamental para contrarrestar los empujes del agua, era la solución más importante en el diseño de estos edificios. El sembrado de árboles sobre el dique cumplía dos funciones: 1) consolidar los bordos, y 2) ayudaba a evitar la evaporación, sirviendo como barrera vegetal para atenuar el olor producido por las aguas estancadas, elemento de control por excelencia, y es donde se localizarán los sistemas de obturación para cerrar o abrir las aberturas o datas; asimismo, será un elemento importante porque de allí también se derivarán los sistemas de seguridad (desagües, aliviaderos) y los de filtración y mantenimiento (desarenadores). La compuerta se localizaba donde confluían las pendientes del depósito.

El medidor de nivel es un elemento que se localiza en un sitio del depósito y que es fácilmente observable a simple vista; sirve para calcular el volumen medio del almacenamiento (soluciones como el nilómetro).

*Elevación.*⁴⁸ Representantes de los sistemas generales de esta actividad podemos mencionar como ejemplos, las *ruedas hidráulicas* y las *norias* (25). Como ejemplos de sistemas particulares los: *papalotes* (24), *tornillos de Arquímedes* (26), *cigoñales* (23), y *bombas hidráulicas* (22).

Se agrupan bajo este apartado todos aquellos sistemas donde se integran las soluciones de la arquitectura con las máquinas para dar cabida a la función de cambiar o de elevar el agua de un sitio más bajo a otro más alto.

Norias. Son construcciones que sirven para contener una maquinaria para poder extraer agua o cambiarla de un nivel bajo a otro más alto. Su localiza-

⁴⁸ *Idem.*

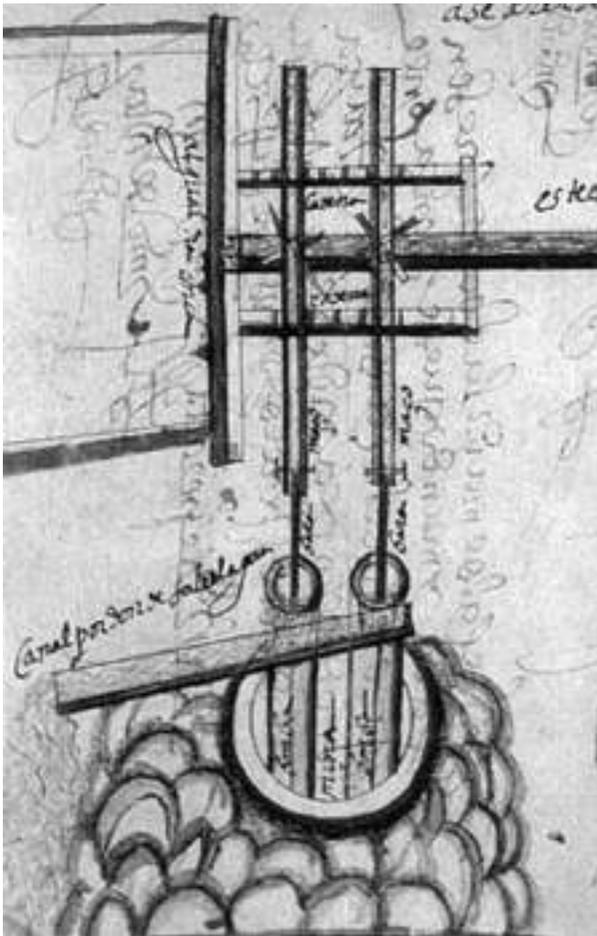


Figura 18. Bomba hidráulica.

ción o ubicación está determinada por la fuente de suministro de agua como para la actividad para la que surgen. Las podemos localizar sobre manantiales o en corrientes de agua superficial o subterránea; el agua se puede utilizar para usos domésticos, para el riego, para surtir abrevaderos de animales o para usos específicos (como el lavado de minerales), lo que les da un lugar espacial en huertas y patios, así como dentro o fuera de áreas delimitadas.

Las norias son edificios integrados a maquinarias que sirven para cambiar de nivel el agua de un sitio más bajo a otro más alto, empleando como energía diversos tipos de fuerzas.

La solución formal de las norias va a estar definida por tres áreas: una dedicada al espacio donde

se va a producir la fuerza; la segunda corresponde al tiro, al brocal y a los apoyos para sostener los mecanismos de extracción; la tercera se refiere a los distintos recipientes que sirven para la distribución del agua.

Todo esto hace que la planta y el alzado donde se desarrollan estén en función de patrones de trazos, medidas muy definidas, dando características a las soluciones, como que todas estén en sitios superficiales, unas a nivel del piso y otras sobre el nivel del terreno; unas desarrolladas en una planta y otras con entresijos; unas cubiertas, otras semicubiertas y otras descubiertas; unas bardeadas y otras más sin bardear.

Técnica y constructivamente estos edificios delatan en su solución un alto grado de complejidad; esto se aprecia en la determinación de los patrones de su trazo y en el empleo de los materiales y sistemas constructivos. Los apoyos, corridos y aislados de que constan, están resueltos en cantería o mampostería; los cerramientos de vanos están resueltos con dinteles o con platabandas aparejadas; las cubiertas pueden ser abovedadas, planas o inclinadas utilizando la madera, el adobe, la piedra y el ladrillo.

El sentido semiótico de una noria está expresado en el edificio en sí mismo, identificado en cuanto a su fuente de abastecimiento, el sitio donde se encuentra y la función para lo que fue diseñado; dará las pautas o principios geométricos de medidas o de verificación de instrumentos para su conocimiento, por lo que las vamos a encontrar relacionadas con otros edificios, con lo que se pueden integrar a los acueductos, los almacenamientos, los lavaderos y los abrevaderos, entre otros.

*Conducción.*⁴⁹ Los ejemplos de sistemas generales de esta actividad serían los *acueductos* (27), *ace-*

⁴⁹ *Idem.*



Figura 19. Noria de San Francisco Cuezcotzin, Tlaxcala.



Figura 21. Noria de Puebla.



Figura 20. Noria en Valladolid, Yucatán.

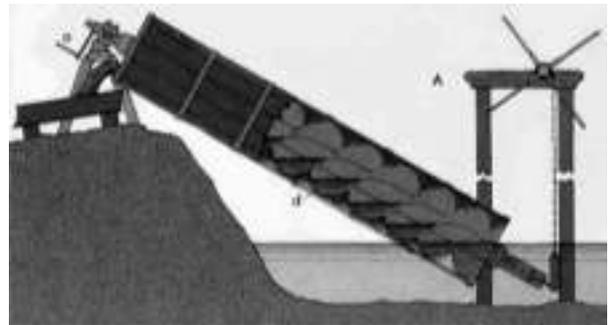


Figura 22. Cloquea o tornillo de Arquímedes.

quias (28) y *castillos de agua* (30). Los ejemplos de las soluciones particulares estarían en las *bajadas de agua pluvial* (29), *gárgolas* y *tuberías*, definidos como elementos donde se adosan o integran conductos diseñados con diversos materiales por donde pasa el agua.

Acueductos. El ejemplo por excelencia de un sistema general es el acueducto; vistos como un sistema general, estas construcciones forman parte importante de la infraestructura hidráulica de cualquier asentamiento, por lo que se ven relacionados con otros edificios donde se aprovecha el agua, ya sea para cubrir necesidades vitales o para actividades productivas. Para las necesidades vitales tenemos soluciones como las cajas, pilas, fuentes, baños y lavaderos como los más destacables, y para las segundas tenemos las ruedas hidráulicas, que son soluciones donde se aprovecha la fuerza

del agua en un sitio donde pueda ser conducida.

La fuente de abastecimiento puede proceder de un manantial, de un arroyo de aguas perennes, de un río, de una galería filtrante, de una superficie de captación o de un depósito; aunado a estas condicionantes que impone el medio cultural, como cuál es la mejor agua, cómo usufructuarla o valerse de ella, y sobre todo cómo conducirla. Esas circunstancias o características son las que van a determinar la forma y por ende las partes de que está compuesto: la toma de agua (alberca, partidor), el conducto (acueducto), los elementos accesorios para garantizar su funcionamiento (filtros, reposaderas, alcantarillas, sifones) y distribución (cajas, pilas, fuentes).

Al ser los acueductos edificios complejos, van a presentar en su construcción dificultades de índole técnica como legal, además de disponer de materiales, así como el usar patrones convenientes

tes en su solución. El principal problema a resolver es el de nivelar o pesar el agua, así como determinar y diseñar el tamaño de la abertura, canal o foramen. Con la elección o selección del sitio de abastecimiento y el de su distribución, además de haber seleccionado y ubicado la fuente, se debía determinar si el agua era buena para decidir su construcción, si la altura o la profundidad, así como la distancia y dirección donde se encontraba era factible para conducir el agua por gravedad a donde se deseaba llevar.

La planta de estos edificios no sigue una línea recta más que por tramos; la característica o necesidad que se tiene de “golpear” el agua para su oxigenación y restarle velocidad, ya que el agua que corre por un conducto no debe ir muy rápido porque erosiona con mayor facilidad el canal, ni muy lenta porque las materias que trae en solución las puede ir sedimentando, obstruyendo poco a poco el caño. El aprovechamiento de la topografía —y sobre todo de las curvas de nivel de los acueductos en alzado— dependerá de la diferencia de alturas del lugar de abastecimiento al lugar de distribución o toma de agua; éste podía ir sobre un muro macizo o sobre arcos con apoyos, que es el más característico y fácilmente identificable.

La solución constructiva de estas obras tan complejas tenía que pasar por resolver dos problemas fundamentales: uno referente al trabajo estructural, es decir, sostener el conducto y todas las partes que conforman los elementos de apoyos y cerramientos, y otro no menos importante como es la nivelación, la elevación y la permeabilidad en el trazo y fábrica de la estructura y los acabados.

Tuberías

Serán ejemplo de los sistemas particulares; estarán localizadas donde sea necesaria la repartición o el desalojo de cantidades determinadas de agua,



Figura 23. Filtro de acueducto en Pozos Guanajuato.



Figura 24. Arenero del acueducto de Huejotzingo, Puebla.



Figura 25. Acueducto de la Hacienda, Puebla.



Figura 26. Acueducto de Santa Fe, México, D. F., Lámina V, en Martha Fernández, *Arquitectura y gobierno virreinal. Los maestros mayores de la ciudad de México, siglo XVII, México, UNAM, 1985.*

dispuestas de tal manera que el agua pueda fluir a través de ellas. Otra de las funciones que cumplen las tuberías es para poder conservar la presión en aquellas soluciones donde sea necesario establecer un equilibrio entre el agua y el aire.

Los tubos pueden ser de diversos materiales: madera, barro, plomo; son piezas con tamaños diversos, condicionados por patrones y que se unen unos con otros ensamblados o soldándolos. Su fabricación depende del material; si son de madera, se fabrican de piezas cilíndricas a las que se hace una perforación por medio de un taladro; la dimensión estará en función de un patrón, pero sobre todo que sea de una parte del grueso; se recomienda que sus extremos estén labrados para que se pueda machihembrar una pieza con otra. Los de plomo se hacen con moldes de madera, los cuales tienen una disminución en uno de los extremos, lo que los convierte en unas piezas cónicas; se colocaba sobre éstos una plancha de plomo a la que se daba la forma del molde, quedando en la parte superior los dos extremos, los que se unían con soldadura. Los tubos de madera y plomo se fabricaban aserrando medio tronco, al que se hacía una canal, o mediante una perforación resultaba una media caña, se introducía el tubo de plomo y se unían las dos mitades con clavos de cobre y un lienzo zucalado. Los tubos de barro se construían con dos tipos de molde: unos en forma cónica y otros cilíndricos.

*Comunicación.*⁵⁰ Los canales de navegación (32), así como los sistemas de comunicación controlados por esclusas (35), muelles y embarcaderos (33), y los puertos (34) estarían dentro de este grupo muy vinculado al de la conducción.

*Energía y riego.*⁵¹ En este grupo hemos puesto las soluciones que tienen al agua como un productor de energía, que se sirven del agua y se valen de *ruedas hidráulicas* para producirla —*aserraderos* (36), *batanes* (37), *molinos* (38) y *trapiches* (39)—, y los *sistemas de regadío* (40), así como la del control de tiempo y cantidad.

A. Producción

*Molinos*⁵²

Un molino, por el cometido que cumple, contiene en su diseño dos sistemas (uno para el aprovechamiento y otro para protección), por lo que no debemos confundir el agua utilizada para mover una máquina con la del lavado del trigo.

Estas soluciones constan de tomas, azudas o *ínciles* (construcciones a manera de recipientes para tomar agua de los ríos); su localización, construcción, reparo o aderezo, debían estar supervisadas por un geómetra o agrimensor a la orden del alcalde responsable.

Nos percatamos de que la rueda hidráulica es lo sustantivo de estos edificios, y de que junto a la maquinaria para transformar la energía pueden estar en el mismo espacio, ya que las funciones son compatibles. El área de molido es independiente, ya que necesita protección contra la humedad, aire, polvo, suciedad, por lo que siempre estará en un espacio superior respecto a la maquinaria.

⁵⁰ *Idem.*

⁵¹ *Idem.*

⁵² Leonardo Icaza Lomeli, "Los molinos de Tacubaya", en *Tacubaya, pasado y presente*, México, DEH-INAH/Yeuetlatolli (Ahuehuete de la Biblioteca Yeuetlatolli, 5), 1996.



Figura 27. Molino de trigo en los límites de Hidalgo y Querétaro.

Asimismo distinguimos dos posibilidades para transformar las corrientes de agua en energía capaz de mover la rueda de un molino: la que se ubica en una posición horizontal a la acometida de una corriente y que se conoce como rodezno, y la de cubo, que consta de alberca, cubo, rodezno de alabes o cucharas, muela, tolva, suministro de trigo, depósito de la harina y caucel.

La otra manera es mediante una rueda vertical o aceña, ya que puede tomar el agua a distintas alturas y de la dirección con que se desee el giro de la rueda; ésta consta de alberca, aceña, rueda hidráulica, muela, tolva, mecanismo de suministro de trigo, y depósito de la harina.

En regiones de gran desarrollo de actividades relacionadas con el molido del trigo, surgen dependencias complementarias al funcionamiento, como oficinas, habitaciones del molinero, locales para almacenar el trigo y los costales de harina (trojes, graneros), bodegas para las carretas o para la harina y espacios para los animales (caballerizas, macheros).

Ruedas hidráulicas

Se pueden definir como máquinas simples que sirven para transformar la energía del agua en movimiento en una energía mecánica; su eficacia estriba en su diseño; éste está definido por la altura de

la corriente y su posición, lo que da las ruedas horizontales —como las cubas— y ruedas verticales —como serían las de corriente alta, media y baja—. Estas soluciones no podrían existir sin la presencia de otras obras anexas o de infraestructura capaces de hacerlos funcionar.

Una rueda hidráulica ideal consta de tres áreas fundamentales: la presa o depósito, los canales y el foso donde se va a alojar. La primera área debe estar ubicada en el lecho de una corriente de agua o de un pequeño depósito elaborado *ex profeso*; servirá para dar el caudal y la altura de la caída de acuerdo con el proyecto, o para el control con que se desee emplear la fuerza del agua. Los canales son fundamentales para la operatividad del sistema; su función puede ser de trabajo o de aliviadero; los de trabajo nacen en una de las orillas de la represa o bocatoma controlada en la parte superior con un tronco atravesado, para evitar la entrada de objetos flotantes; el tramo anterior al foso se denomina caz y el tramo posterior socaz; para controlar el cauce debe existir una compuerta con una rejilla, y el canal de aliviadero sirve para derivar el agua antes de que pase por la rafa o sangradera que da al foso. El foso es el sitio donde se localiza la rueda hidráulica; la diferencia de alturas entre el caz y el socaz lo va a determinar el salto o caída del agua.

Por su forma y tamaño, la rueda se debía ajustar al foso con la mayor precisión. Su proceso constructivo estaba determinado por su trazo y por tener una geometría en relación con el círculo, era el eje, la pieza a la que primero se le daba la forma; en ambos extremos se le practicaban ranuras en forma de cruz para alojar una pieza de metal (muñón) y que giraría dentro de cojinetes previamente fijados a los extremos del foso. Sobre el eje se hacían perforaciones semejantes a los que sirven para alojar los rayos de una rueda de carreta y posteriormente en sus extremos colocar los contornos

o pinas, en las que previamente se habían trazado y ranurado en sus caras interiores los sitios para alojar las paletas y que forman los cangilones. A las paletas se les practicaban perforaciones, las cuales se cubrían por la cara interna con pequeñas aletas de cuero para que actuaran como válvulas, y así evitar la penetración de agua a zonas no deseadas.

*Higiene y limpieza.*⁵³ Los ejemplos de sistemas generales que hemos seleccionado para este apartado los hemos dividido en tres grupos: los que emplean agua para la limpieza, *areneros* (41) o filtros, *baños* (42), *temascales* (43) y *lavaderos públicos* (45).

Como ejemplos de sistemas particulares del uso derivado del agua tenemos a los relojes de agua o *clepsídras*, a los *retretes* y a los *refrigeradores*. De los de protección, tendríamos los *caballetes* o remates de muros, las *cornisas* por sus pendientes y *goteros*, los *botaguas* y los *sardineles*, así como las soluciones para evitar la humedad ocasionada por la capilaridad de los materiales.

38 |

*Control y distribución.*⁵⁴ Dentro de lo que hemos denominado sistemas generales tenemos ejemplos de soluciones como los *partidores* (49), *cajas y datas*; tienen en común que cumplen con funciones como ser el sitio donde llega el agua para poderla repartir equitativa y jerárquicamente, y otra función de distribución como *pilas* (50) y *fuentes de agua* (48).

Los particulares para esta actividad los hemos ejemplificado con las *piletas* o el espacio generado por las *tinajas* y *toneles*, así como el *aguador* oficial que hace posible que el agua que está en una pila o fuente pública se distribuya a otro depósito.

Fuentes

Estas soluciones las podemos dividir en dos grupos: las integradas o adosadas a un muro o a un

elemento vertical dan soluciones que denominamos pilas o cajas de agua; las que están integradas a elementos horizontales —como pisos o pavimentos— las llamamos fuentes. Una definición sería: son construcciones de recipientes momentáneos que sirven de tomas, donde la gente acude a proveerse de agua.

Constan de cuatro partes: surtidor, depósito, toma y acceso. El surtidor será el soporte; será útil para usos diversos. Cuando funciona como arca servirá para controlar el agua y regular la presión. Cuando funja de alcantarilla, como apoyo a esculturas (adosadas, sobrepuestas o de remate) o para las tazas y cuencos. Los depósitos, principal y secundario; el primero es el que está formado por los muretes o muros perimetrales; el otro está referido a los cuencos; ambos están diseñados para contener el agua de acuerdo con una función física y mecánica. La toma de agua ubicada siempre sobre el muro perimetral o en un sitio anexo a éste debe resolver con su diseño el problema de llenado, extracción y carga de los recipientes donde se transporta el agua. El acceso se refiere a la zona donde se localizan tanto escalones, pavimentos o barreras que tienen la función de evitar la entrada a determinados sitios de estos edificios.

El proceso constructivo de estas obras está limitado a la solución de dos problemas: uno era el referente al manejo del agua y el otro a la utilización de los materiales y las técnicas más idóneas. Resolver la salida del agua en los surtidores en cuanto a fuerza, dirección y altura, así de cómo contener un nivel constante en los recipientes. El otro es el aprovechamiento más idóneo de materiales y técnicas para resolver los conductos por donde se suministraba el agua (de plomo, barro). El uso de materiales y procedimientos constructivos para contrarrestar los esfuerzos producidos por el agua y hacer trabajar mediante compresión las distintas piezas que forman un anillo de compre-

⁵³ Véase el apartado "Arquitectura hidráulica", pp. 43-50.

⁵⁴ *Idem*.

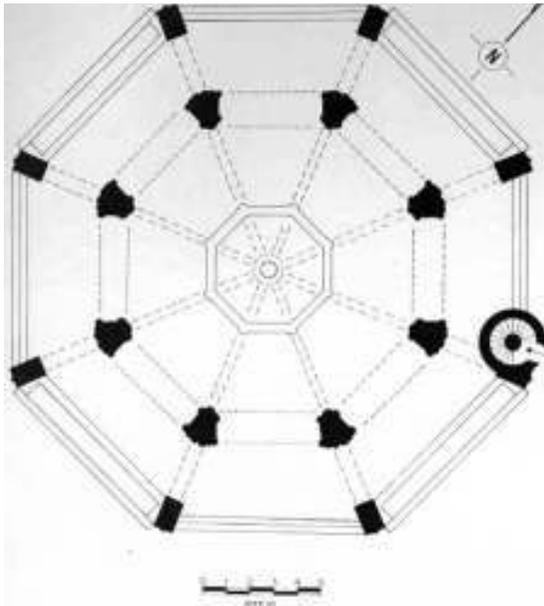


Figura 28. Planta de fuente en Chiapa de Corzo. Carlos Navarrete, *La fuente de Chiapa de Corzo. Encuentro de historias*, Tuxtla Gutiérrez, Gobierno del Estado de Chiapas, 1991.

sión, se usaron grapas de metal unidas con plomo, así como para evitar la penetración del agua se usaron recubrimientos y mezclas impermeabilizantes.

Clepsidras

Son instrumentos que utilizan el agua como energía y sirven para medir periodos regulares. Se localizan en sitios donde se pueda estar vigilando y controlando con una regularidad constante y en lugares donde el agua no se pueda congelar ni evaporar. Son útiles porque señalan periodos regulares necesarios en la organización tanto de un conjunto conventual como de una villa o ciudad.

Se componen de recipientes y conductos donde el agua pasa de un sitio a otro por la fuerza de la gravedad; de elementos en los cuales está grabada una escala con los distintos periodos y un indicador de dicha escala. Están construidas de materiales resistentes a los esfuerzos físicos (contener el agua) y a la acción corrosi-

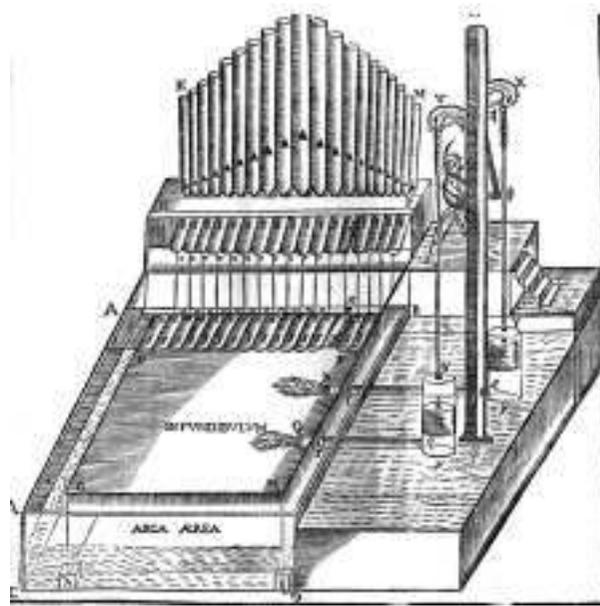


Figura 29.

va, por lo que determinados conductos se forraban de oro o de la inclusión de alguna piedra considerada preciosa. Estos instrumentos están relacionados muy directamente con los cuadrantes solares y por su localización con torres o atalayas en las que se tienen campanas para el anuncio emanado de la indicación de esta construcción.

B. Limpieza

Lavaderos

De distintas maneras de utilizar el agua para la limpieza, tanto del cuerpo como de prendas de vestir, o de algunos productos como la lana o la de otras fibras, hemos destacado en este apartado la necesidad espacial que generan, y sobre todo lo que hace que en sus soluciones esté presente la arquitectura.

La ubicación de estas construcciones obedece y depende de la fuente de suministro y de las características culturales que condicionan el uso del

agua, por lo que la fuente de suministro podía ser un manantial, un río o arroyo, y su situación respecto a la traza de un asentamiento o de otros edificios estaba en función de su carácter privado o público, de paga o gratuito. Los privados los encontramos formando unidades entre la fuente de abastecimiento (pozos, apantles, depósitos, cajas de repartición) y los distintos tipos de habitaciones en diferentes ámbitos (ciudades, villas, haciendas, ranchos). Los públicos, localizados dentro y fuera de las trazas, teniendo agrupaciones de baños y lavaderos, o de sólo baños, o de sólo lavaderos, formando unidades aisladas o integradas a otros edificios, pero siempre formando parte de una infraestructura hidráulica.

Las partes que constituyen los lavaderos son: área de servicio, depósito, conductos de suministro y de desagüe, tendedores o asoleaderos, área de los lavaderos y espacios para circular.

Las plantas de estos conjuntos adoptan formas geométricas circulares, cuadradas, octogonales o rectangulares. Dependiendo de la posición, los lavaderos pueden ser trapezoidales o cuadrilongos, y las piletas rectangulares o redondas. Su agrupamiento puede ser uno delante de otro (cuando la hilera es paralela o cuando es centrípeta), uno alternado con otro a 45 grados (espina de pescado); teniendo a su vez la pileta al lado o al frente. Los lavaderos y algunas veces las piletas suelen estar labrados en una sola pieza de una piedra dura y con una aspereza en la superficie de contacto con la ropa, así como con una inclinación al frente.

Los lavaderos estaban diseñados para utilizarlos en una posición determinada (de rodillas o de pie); en casos muy concretos las lavanderas se meten prácticamente al depósito con el agua a la cintura, y en algunos otros se evita que las lavanderas tengan los pies mojados, por lo que tienen que llevar un pequeño trozo de madera para aislar de los pies lo húmedo del piso.



Figura 30. Lavaderos de planta redonda en Guatemala.

*Protección.*⁵⁵ Quizá los ejemplos por excelencia pudieran ser, por un lado, las *atarazanas* (51), pasando antes por los sistemas de *albarradones* (52), *diques* (53), *calzadas-dique* (54), *faros* (55) y la red de *zanjas* (56), con el cometido de proteger contra el agua y así evitar inundaciones.

Diques

Son construcciones que se van a realizar paralelas o transversales a corrientes perennes o periódicas de agua; su finalidad es controlar y encauzar a sitios donde se puedan drenar o aprovechar; esto con el fin de mantener un nivel determinado en el caso de una corriente o de un depósito provisional.

Las obras que sirven de protección y control a orillas de cauces de ríos, en las riberas o en la división de lagunas para desviar aguas y evitar por su desbordamiento mezclas o inundaciones, se componen de dos partes fundamentales: un sistema de contención formado por apoyos corridos y un sistema de control solucionado por los tajos o aberturas formado por compuertas y por puentes.

La forma definida en planta se va a adecuar a los tipos y funciones de los sitios; si es como pro-

⁵⁵ *Idem.*



Figura 31. Restos del albaradón de la carretera a Teotihuacan, México. Fotografía de Leonardo Icaza.

tección, seguirá la topografía del terreno y el cauce de la corriente; si son para dividir, serán rectas y podrán servir como calzadas; si en cambio su cometido es la de encauzar el agua, tendrán formas curvas o angulares adecuadas y/o estructuradas para resistir o canalizarla cuando el agua se presenta de manera intempestiva.

Tecnológicamente los diques deben estar resueltos para tener una resistencia mecánica y física al empuje del agua, pero también a la penetración y erosión, tanto en las soluciones que están constante o esporádicamente en contacto con el agua.

Las fórmulas tradicionales para el diseño de los apoyos corridos se limitaba a la formación de taludes en ambos parámetros; al interior, la proporción de una vez y media a la base y de una la altura, y al exterior de tres de base por uno de altura. Cuando se trataba de muros de mampostería, los apoyos corridos se resolvían con contrafuertes. El remate superior tenía de acabado una inclinación para que el agua no se acumulara o penetrara por gravedad, y en algunos casos para evitar el paso de animales se resolvía entresacando piedras.

Por ubicación se pueden identificar dos tipos de diques. Los húmedos, que están en constante contacto con el agua, como los que se encuentran dividiendo depósitos naturales o artificiales, y los que se localizan a orillas de ríos y lagunas. El otro de los tipos serán los diques secos situados en accidentes del terreno o barrancas, y los vados presentes en los caminos tienen un contacto no constante sino esporádico con el agua.



Figura 32. Albarrada de la laguna, en Códice Osuna, Fernando Benítez, *Historia de la Ciudad de México*, Madrid, Salvat, 1983, t. 2, p. 69.

Desalojo.⁵⁶ Las topologías más representativas son las *presas de regulación* (57) que tenemos y encontramos generalmente en vertientes; los *albañales* o *canales de desagüe* (58) y las cloacas o drenajes de *tajo a cielo abierto* (59) y el *subterráneo o profundo* (60).

Conclusiones

Al pretender conocer las relaciones entre el agua y las soluciones de la arquitectura nos percatamos de que cualquier alteración al medio repercute en el ciclo hidrológico modificando o alterando las fuentes de abastecimiento, y por lo tanto las funciones y las actividades básicas.

La lluvia al caer sobre terrenos faltos de vegetación, por tala o uso inadecuado del suelo, no permite la retención del agua, por lo que correrá libremente ocasionando erosión; además impide la infiltración con las consecuentes avenidas de agua que provocan azolves en las cuencas y en los cauces de ríos. Como consecuencia directa de lo anterior, al no existir un reabastecimiento de agua en los mantos subterráneos, los manantiales y las corrientes superficiales se “secarán”, alterando la alimentación, y por lo tanto el funcionamiento de pozos, norias y acueductos. Al crecer y rebasar la capacidad de cauces y depósitos se desbordarán por una sobrealimentación, provocando inundaciones en las partes más bajas.

⁵⁶ *Idem*.

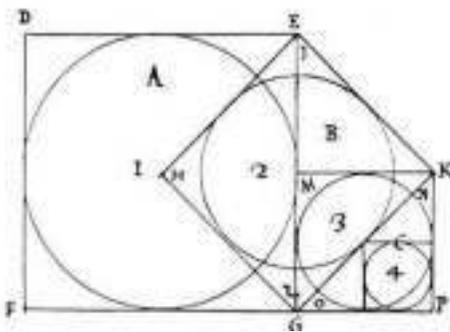
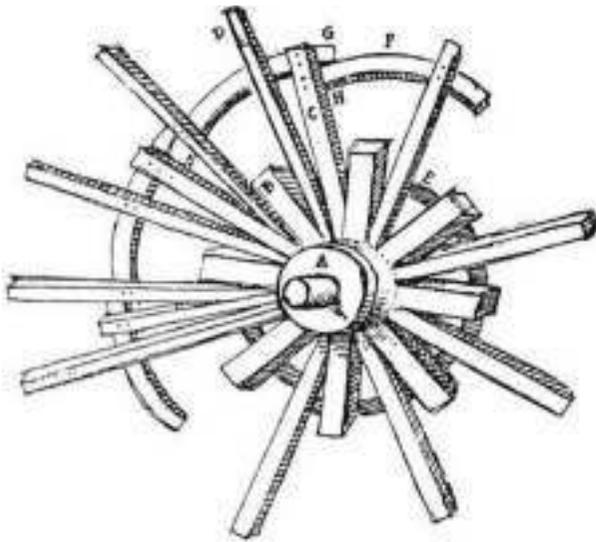


Figura 33. Subdivisión del cuadrado y la inscripción de un círculo para obtener la proporción de una rueda hidráulica. *Los Veintidós Libros de los Ingenios y Máquinas de Juanelo Turriano*, ed. cit., Libro 13, f. 344v.

42 |

Con la alteración del ciclo hidrológico, consecuentemente se modifican las fuentes de suministro, por lo que las obras arquitectónicas para su aprovechamiento y protección se vuelven inoperantes y obsoletas, condenándolas a ser alteradas o a desaparecer por la falta o por el exceso de agua no controlada.

Una propuesta concreta sería el conocimiento tanto de procesos como de las soluciones tan peculiares de la arquitectura, y con ello saber que no sólo vamos a proteger como patrimonio los restos materiales sino también el patrimonio intangible, como son las prácticas de la búsqueda de agua, la verificación de que sí es apta para el uso que le

vamos a dar, o la invocación de las lluvias, entre otras.

Con ese conocimiento contextual (natural y cultural) podremos proponer la regeneración ecológica en las zonas de influencia donde se localizan los edificios que se pretenden reutilizar; una más, pero a largo plazo, sería intentar restablecer algunas de las etapas del ciclo hidrológico ya perdidas o a punto de perderse, mediante la acción de reforestación paulatina, el uso adecuado del suelo y el cuidado del agua superficial y subterránea existente. Las acciones a corto plazo podrían ser las campañas de concientización sobre la importancia que tiene o debe tener la arquitectura en relación con el agua.

La recomendación para aquellos edificios o soluciones de la arquitectura en que prácticamente sea imposible su reutilización, por agotamiento o modificación de fuentes de abastecimiento, o por la adopción de nuevas tecnologías, la solución sería decodificarlos y conservarlos como testimonio de una identidad y de una tecnología.

Arquitectura hidráulica

Patrones geométricos

Para percatarnos de la existencia de un patrón de diseño de acuerdo con diversas funciones entre el agua y la arquitectura de *aprovechamiento* (captación, almacenamiento, elevación, conducción, comunicación, energía y regadío, y las de higiene y limpieza) y *desagüe* (protección y desalojo) denominadas diagnósticas —las soluciones formales teniendo como principio las fuerzas de la gravedad en la determinación de una vertical y una horizontal, ya fuera de una alberca, noria, molino, caja de agua, fuente, albarrada o puente— siempre tienen un principio geométrico, no hay más que tener una lectura razonada y darnos cuenta de su síntesis y

Clase		ARQUITETURA HIDRÁULICA									
Grupo		Aprovechamiento								Desagüe	
Espacio/Tiempo											
Género		Captación	Almacenamiento	Elevación	Conducción	Comunicación	Energía y regadío	Higiene y limpieza	Control y distribución	Protección	Desalojo
Tipo		1. Alberca	11. Abrevadero	21. Aceña	27. Acueducto	31. Puente	36. Acerradero	41. Arenero	48. Fuente	51. Atarazana	57. Presa de regulación
		2. Aljibe	12. Azuda	22. Bomba hidráulica	28. Acequia	32. Canal de navegación	37. Batán	42. Baño público	49. Partidor	52. Albarradón	58. Canal de desagüe
		3. Arca de agua	13. Aguada	23. Cigüeñal	29. Bajada de agua	33. Muelle o embarcadero	38. Molino	43. Temazcal	50. Pila	53. Dique	59. Drenaje, atajo abierto
		4. Balsa	14. Arca de agua	24. Coclea	30. Castillo de agua	34. Puerto	39. Trapiche	44. Bañadero de caballos		54. Calzada dique	60. Drenaje profundo
		5. Caja de agua	15. Depósito	25. Noria		35. Esclusa	40. Sistema de regadío	45. Lavadero público		55. Faro	
		6. Chultun	16. Estanque	26. Tornillo de Arquímedes				46. Letrina		56. Zanja	
		7. Galería filtrante	17. Papalote					47. Meadero			
		8. Cisterna	18. Piscina								
		9. Jagüey	19. Presa								
		10. Pozo	20. Tanque elevado								

Figura 34. Cuadro arquitectura hidráulica.

código genético que está determinada por dos figuras elementales: el círculo y el cuadrado.

A fin de determinar la síntesis geométrica de plantas y alzados de las construcciones vinculadas con el agua se puede utilizar la *vesica piscis* como patrón para su trazo, ya sea a partir de la subdivisión de una vara en medias, tercias, cuartas sextas y ochavas de las *datas* en las medidas de agua, del cuadrado geométrico, de la elaboración de un nivel ordinario, de la rueda hidráulica o del tornillo de Arquímedes, entre otras aplicaciones.

El conocimiento del patrón geométrico generado por la intersección de dos círculos y su uso como principio para derivar figuras básicas (círculo y cuadrado) nos conduce a cuatro maneras de entender “la cuadratura del círculo”. Con el mismo principio de la intersección de dos círculos de

radios iguales se puede lograr un cuadrado: pasando por sus esquinas dos líneas diagonales se forman cuatro triángulos iguales, y uniendo las intersecciones de los ejes vertical y horizontal con el cuadrado se construirá otro; mismo principio que tiene el *K'annamayte*, por la mitad del área del cuadrado base. Esta propuesta servirá para aumentar o disminuir proporcionalmente el área de un cuadrado. Si se gira 45 grados, obtendremos un octágono.

Entre algunos ejemplos de plantas arquitectónicas de soluciones que nos impresionan están el Pocito y la Fuente de Tochimilco; las de los acueductos de Santa Fe y Chapultepec, que surtían de agua potable a la ciudad de México, o los de Zempoala, Acámbaro, Querétaro, Zacatecas, Chihuahua, Morelia y tantos otros; además de los dos san-

tuarios para la ciudad de México, el de Guadalupe y el de los Remedios.

La red de acequias para el control aduanal, con el “faro” del Peñón de los Baños; plantas de norias como las de Tlaxcala, Puebla, Oaxaca, San Luis Potosí y Yucatán son ejemplos de cómo pasar de un círculo a un cuadrado, a un hexágono, o de un cuadrado a un octágono y de un pentágono a un decágono.

Respecto a pilas, aljibes o cisternas, molinos y batanes, no hay más que analizar los restos de sus plantas para darnos cuenta del uso del seis y el diez como números perfectos, y de que vemos matrices resumidas a círculos y cuadrados.

Síntesis geométrica

El objetivo de la propuesta es el conocimiento y aplicación de la *vesica piscis*⁵⁷ a las soluciones de la arquitectura vinculadas con el agua, ya que al considerarla como la matriz de todas las figuras geométricas será el patrón por excelencia, pudiéndose utilizar en el trazo de la subdivisión de la vara, de las datas en las medidas de aguas, del cuadrado geométrico, de la construcción de un nivel ordinario, de la rueda hidráulica y el tornillo de Arquímedes.

Como inicio de 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”.⁵⁸

⁵⁷ Apud César González Ochoa, *Música congelada. Mito, número, geometría*, México, Ubarí, 2003, pp. 49 y 55. La *vesica piscis* se define como el espacio compartido por la intersección de dos círculos con un mismo diámetro, así como ser el lugar común donde nacen las formas geométricas. Los dibujos y el diseño gráfico de las láminas fueron elaborados por Arturo Acosta Cruz.

⁵⁸ *Ibidem*, p. 49.

Del conocimiento del patrón geométrico generado de la intersección de dos círculos y teniéndolo de principio, derivado éste a figuras básicas (círculo y cuadrado), deducimos la existencia de cuatro maneras de entender “la cuadratura del círculo”: círculo inscrito dentro de un cuadrado, cuadrado inscrito dentro de un círculo, perímetro del círculo igual al perímetro de un cuadrado y área del círculo igual al área de un cuadrado.

Con el mismo principio (intersección de dos círculos de radios iguales) se puede lograr construir un cuadrado; pasando por sus esquinas dos líneas diagonales se forman cuatro triángulos iguales, y uniendo las intersecciones de los ejes vertical y horizontal con el cuadrado se construirá otro cuadrado, pero de la mitad del área del cuadrado base; esta propuesta servirá para aumentar o disminuir proporcionalmente el área de un cuadrado. Si se gira 45 grados, obtendremos un octágono.

Para destacar los patrones, a continuación se muestra en ocho pasos la síntesis geométrica de la subdivisión y trazo de la vara (figura 39); buey de agua (figura 43); cuadrado geométrico (figura 44); nivel ordinario y rueda hidráulica, y tornillo de Arquímedes (figura 46).

Síntesis geométrica de la vara

Paso uno. La obtención de la *vesica piscis* se logra construyendo un círculo que tenga la escala de 100 cordeles de diámetro entre los centros F-G; se coloca la punta del compás en la letra F, y con una abertura G trazar un arco de círculo que intersec-te la línea horizontal (perpendicular a la FG). El paso se repite en las otras tres intersecciones.

Paso dos. La *vesica piscis* también se puede lograr determinando un centro y una apertura del compás con una dimensión establecida de 50 cordeles de radio; se traza el círculo. Con el mismo radio y tomando como centro cualquier punto de la circunferencia,

se traza otro círculo. Con la unión de una recta en la intersección vertical y horizontal de los círculos se define la línea F-G, así como una recta perpendicular a ésta; su cruce será el centro del nuevo círculo. Formar un cuadrado que lo contenga pasando líneas paralelas a la recta H-I por F y G; asimismo, pasar una recta paralela a F-G por H y por I. Sobre el círculo, en cualquiera de los dos cruces de la horizontal, pasar el radio (50 cordeles) dividiéndolo en seis partes, eligiendo con una separación de cada dos o tres de éstos, y uniéndolos obtendremos un triángulo equilátero.

Paso tres. Conocida la dimensión del cuadrado y de las rectas vertical y horizontal, trazar dos diagonales que pasen por el centro y unan sus esquinas. Construir —a partir de los cuatro puntos obtenidos por su intersección vertical y horizontal— un cuadrado girado a 45 grados (será en área la mitad del cuadrado base) con la intersección de las diagonales y el cuadrado girado. Obtendremos otros cuatro puntos que, al unirlos, formarán un cuadrado que será la cuarta parte en área del cuadrado fundamental.

Paso cuatro. Determinar documentalmente, y a partir de la recta F-G que sirve como eje de simetría, la subdivisión del cuadrado. La del lado izquierdo es la sugerida por Platón en la versión del Vitruvio de Lázaro de Velasco, y la del lado derecho la determinada por Juanelo Turriano.

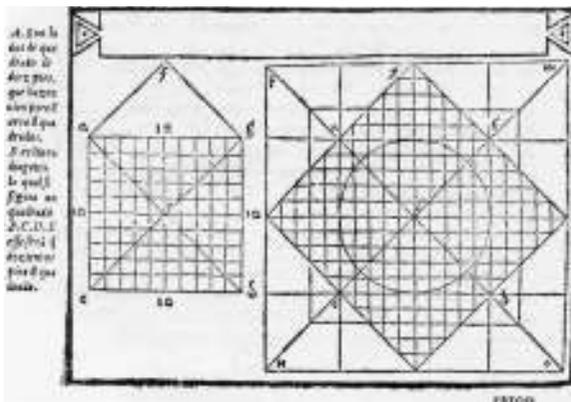


Figura 35. Del Libro Nono, capítulo primero, Invención de Platón para medir el campo. Vitruvio Pollion, *Los X Libros de Architectura*, ed. cit., f. 16v.

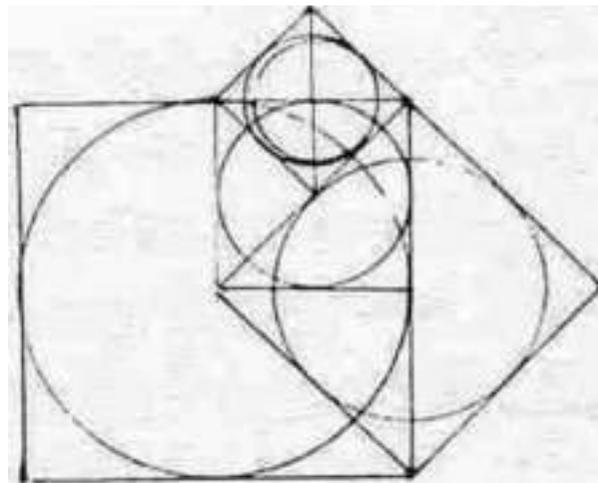


Figura 36. Subdivisión del cuadrado y la inscripción de un círculo para medir terrenos. Marco Vitruvio, *Los X Libros de la Arquitectura*, ed. cit., Libro XIII, f. 344v.

Paso cinco. Construir un octágono. El cuadrado base se debe inscribir en un círculo, donde la línea F-G y la horizontal se crucen con dicho círculo; si unimos esos puntos obtendremos un cuadrado semejante, pero girado 45 grados. Si unimos con una recta los puntos que conforman las aristas de los dos cuadrados, obtendremos la figura de un octágono.

Paso seis. Dividir una recta (C-G) en tres partes con la dimensión conocida, pudiendo obtener un cuadrado que tenga la dimensión de $\frac{2}{3}$ y de $\frac{1}{3}$ del cuadrado base. Partiendo de la dimensión del diámetro, construir un triángulo equilátero y un hexágono.

| 45

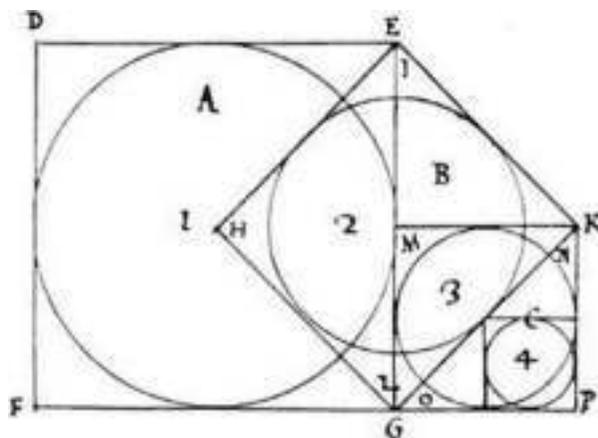


Figura 37. Subdivisión del cuadrado para obtener una rueda hidráulica, en *Los Veintín Libros de los Ingenios y Máquinas de Juanelo Turriano*, ed. cit., Libro nono, caps. Primero y Segundo.

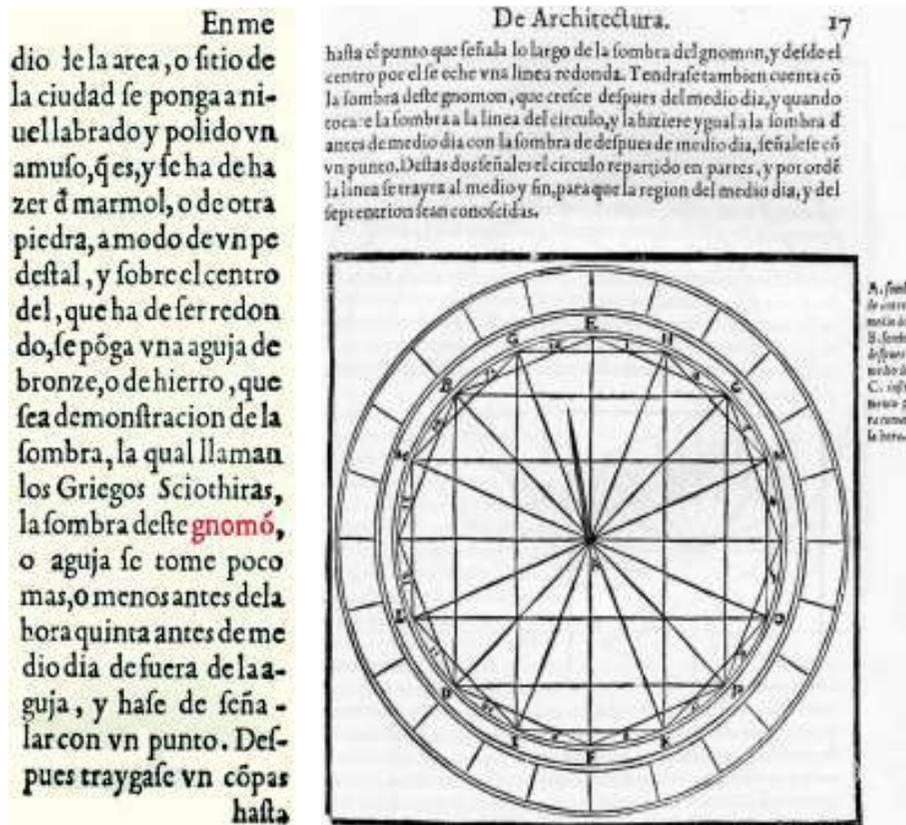


Figura 38. Descripción del Gnomón, en Libro Primero, Capítulo Sexto, de Vitruvio Pollion, *Los X Libros de Architectura*, ed. cit., f. 16v y 17r.

Paso siete. Partiendo de la dimensión de 1 104 varas (caballería de tierra) que equivalen a dividir ese cuadrado en $1/4$, lo que da 552 varas (suerte de tierra), y ésta a su vez en $1/16$ o 272 varas, en $1/64$ que da 138 varas (cuadra mayor para villa o ciudad), y en $1/256$, lo que da 69 varas, que es una medida o cordel para medir los lados de una caballería de tierra.

Paso ocho. Con el auxilio de la división de la línea horizontal (diámetro), levantar líneas verticales que crucen el círculo, y con esas intersecciones construir tres cartabones. La figura es el resumen de la cuadratura del círculo y de la subdivisión del cuadrado.

Vesica piscis y trazo de datas

Paso uno. Construir la *vesica piscis* circunscribiendo un círculo con 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 de la *vesica piscis* horizontal y la vertical 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 (figura 40).

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 (figura 41) y la determinada por Juanelo Turriano (figura 42).

Paso cinco. Subdividir el cuadrado por medio de la *vesica piscis*. Los círculos (con línea punteada)

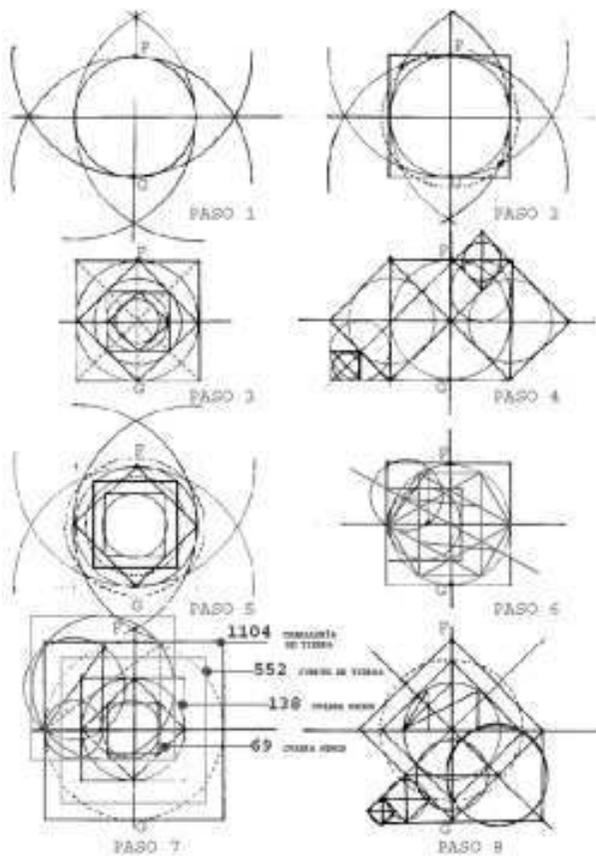


Figura 39. Síntesis geométrica de la vara, sitio de ganado mayor y caballería de tierra.

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 (48a. 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

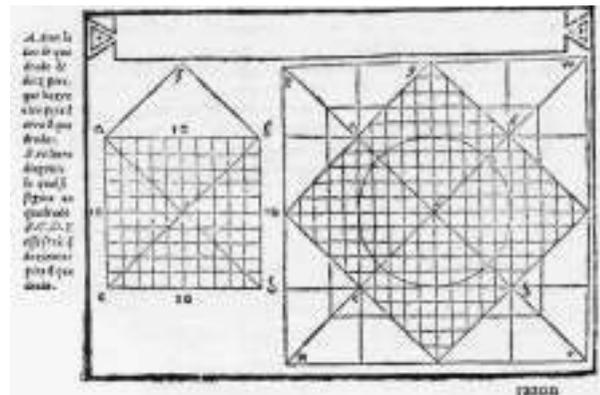


Figura 40. Vitruvio Pollion, *Los X Libros de Architectura*, ed. cit., Libro Nono, capítulo primero, Invención de Platón para medir el campo.

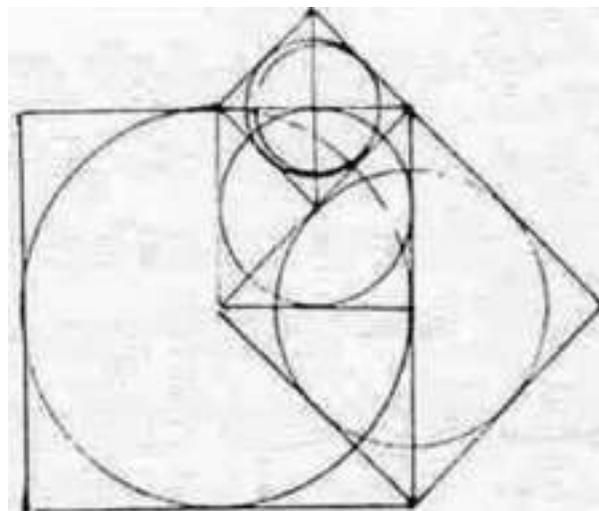


Figura 41. Subdivisión del cuadrado y la inscripción de un círculo. Marco Vitruvio, *Los X Libros de la Arquitectura*, ed. cit., Libro nono, capítulos primero y segundo.

al caño de Carmona nos 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.

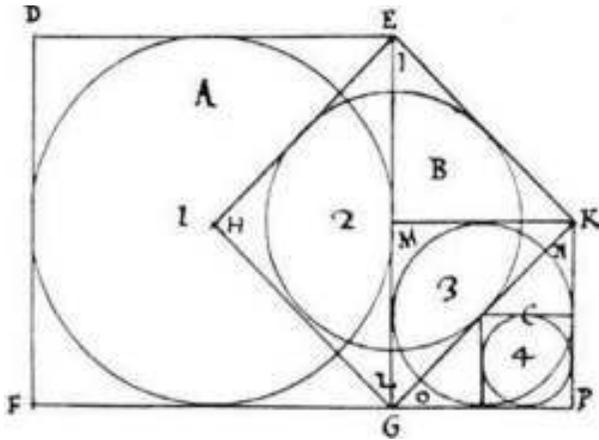


Figura 42. Subdivisión del cuadrado y la inscripción de un círculo para obtener la proporción de una rueda hidráulica. *Los Veintitún Libros de los Ingenios y Máquinas de Juanelo Turriano*, ed. cit., libro 13, f. 344v.

Vesica piscis y trazo de un nivel

Paso uno. Determinar el punto F y apoyar el compás con una dimensión de 10 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 unirlas 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 10 (pies) partes iguales. Haciendo centro en G, trazar círculos concéntricos por cada una de las divisiones de la vertical, con las que se obtendrán 10 intersecciones de cada lado del eje F-G; éstas se referirán al punto A.

Paso seis. La intersección que forma la *vesica piscis* corresponde al trazo de la división "10-10", que unida horizontalmente constituye uno de los

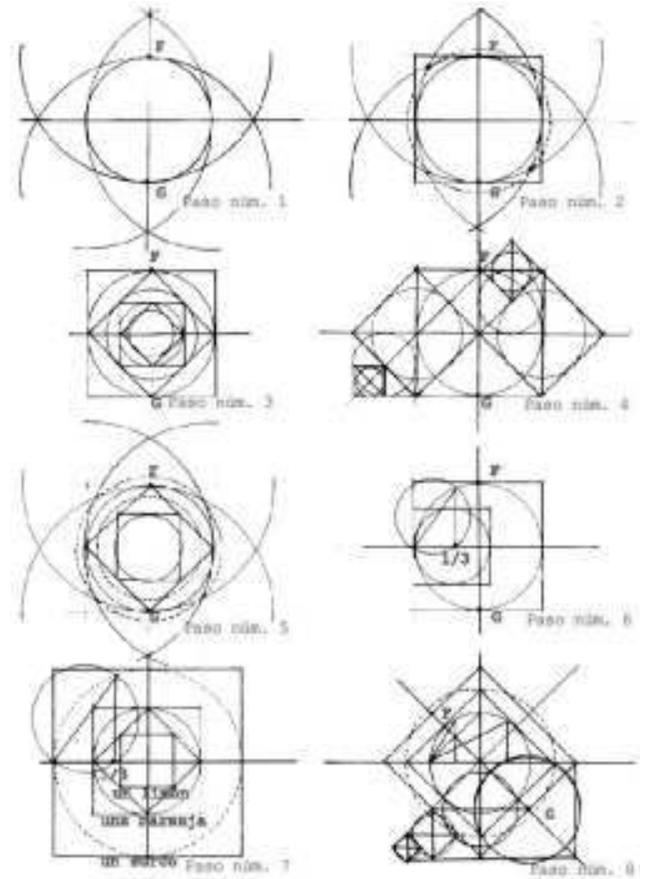


Figura 43. *Vesica piscis* y trazo de datos.

tres lados de un "triángulo equilátero" cuando se une en A. Con la unión entre el punto A y las intersecciones de los círculos al círculo F, tendremos un señalamiento de 20 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 travesía, donde determinaremos las (20) divisiones.

Paso ocho. Trazar el "nivel de tranco" conforme a la sección de la madera utilizada y los ensambles correspondientes.

Trazo de un cuadrado geométrico

Paso uno. Construir un círculo que tenga de radio una vara al unir con una recta los centros F-G. La

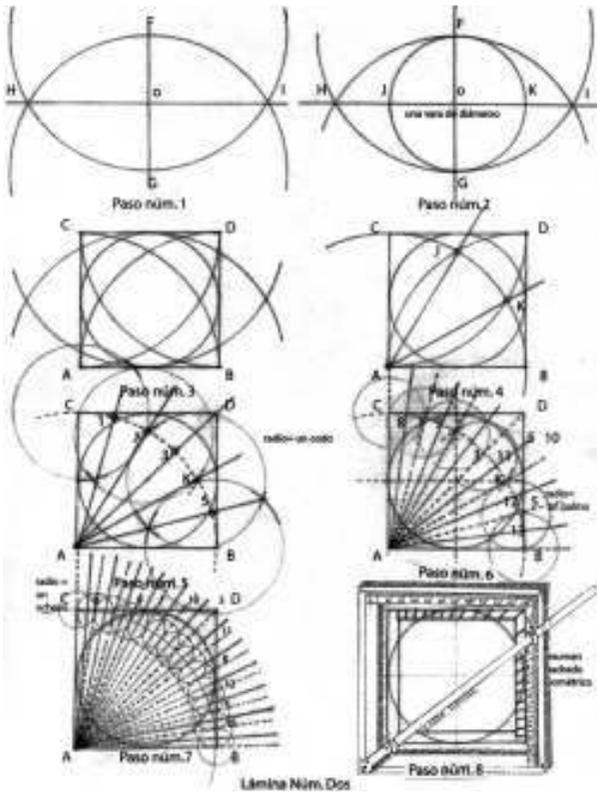


Figura 44. Trazo de un cuadrado geométrico.

vesica piscis se obtiene colocando la punta del compás en la letra F, y con una abertura G trazar un arco de círculo; asimismo, tomar como centro G con una abertura hasta F por las dos intersecciones de los círculos H-I; pasar una recta que será perpendicular a FG; donde se crucen tendremos el centro O.

Paso dos. Por el centro O trazar un círculo que tenga de radio media vara o un codo; al trazarlo veremos cómo la *vesica piscis* contiene un círculo de una vara de diámetro.

Paso tres. Pasar por los puntos F y G dos paralelas a la recta H-I; y teniendo J-K, pasar dos rectas paralelas a F-G; localizamos los puntos A, B, C y D, mismos que formarán un cuadrado que contenga al círculo antes trazado. También se pueden construir localizando los puntos A; trazar un cuarto de círculo que vaya de C a B en B, de A a D en C, de A a D en D, y de B a C.

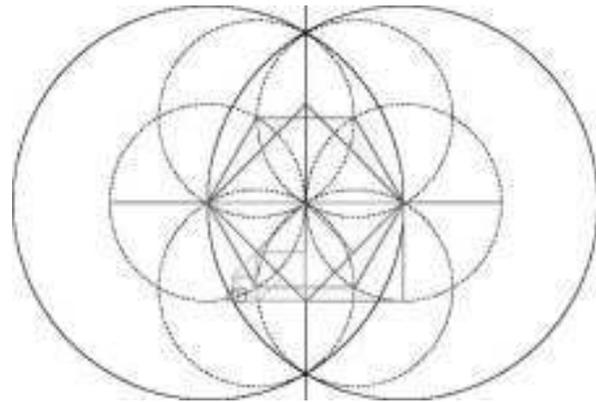


Figura 45. Trazo del hexágono a partir de la *vesica piscis*.

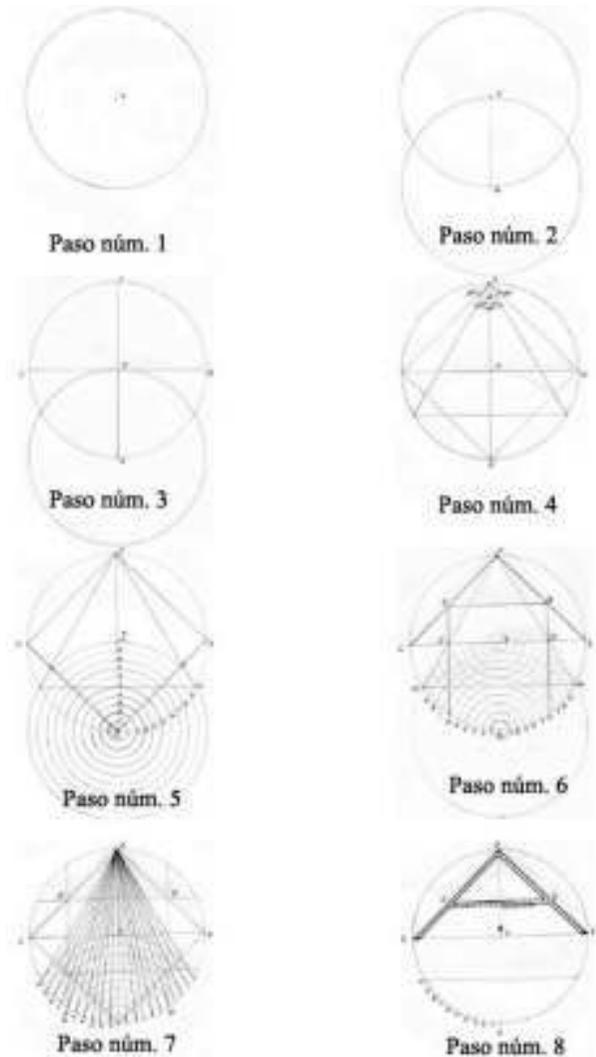


Figura 46. *Vesica piscis* y trazo de nivel.

Paso cuatro. Para obtener la trisección del ángulo recto formado por las rectas A-B y A-C: haciendo centro en A, se traza un arco de círculo de una vara de radio que pase por B y C, y luego haciendo centro en B y en C se trazan otros dos círculos con la misma dimensión de una vara de radio donde éstas se intersecten; obtendremos los puntos J y K.

Paso cinco. Ya dividido el arco de círculo en tres partes, éste se puede subdividir en otras tres partes. Haciendo centro en B y con una apertura del compás de media vara (un codo) notamos que el círculo pasa por K; haciendo centro en K, trazar otro círculo con la misma abertura; notamos que el círculo toca a J y a D, donde se cruzan los dos círculos tenemos los puntos 5a y 5b. Con la punta del compás en C y con la abertura J se traza otro círculo, colocando la punta del compás en J y con la abertura C, notamos que el círculo pasa por C, por D y por K; en las intersecciones de estos dos últimos círculos obtenemos los puntos 1a y 1b. Las intersecciones de los círculos 3a y 3b tienen como

centros J y K. El arco de círculo C-B ha quedado dividido en seis partes.

Paso seis. La división de 12 partes del arco de círculo B-C se obtiene trazando círculos de una cuarta de vara (un palmo) colocando la punta del compás en los puntos B, 5, K, 3, J, 1 y C, de donde se obtienen las intersecciones 8a-8b, 9a-9b, 10a-10b, 11a-11b, 12a-12b y 13a-13b.

Paso siete. La división en 24 partes del arco de círculo B-C se logra construyendo círculos que tengan una octava parte de vara de diámetro (un ochavo), teniendo como centro los puntos B, 13, 5, 12, K, 11, 3, 10, J, 9, 1 y C. Donde se obtengan las intersecciones de los círculos, unirlos con una recta en el punto A; la recta C-D y la D-B quedarán divididas en 12 partes cada una.

Paso ocho. Construir un marco que tenga una dimensión de una vara por lado y de espesor una sexta parte de vara (una sesma), procurando sobreponer el diseño del cuadrado geométrico a la propuesta.

