

Hidromensura, arquitectura y producción en Nueva España

[...] los q' se ocupan en este exercicio (cuia ciencia se dize Hidrogogía) q' significa conducción de aguas deben esmerarse en todo [...].

JOSEPH SÁENZ DE ESCOBAR, 1749¹

El agua es vital en la vida del ser humano; el 60 por ciento de su organismo está conformado por agua. La sangre la requiere en su composición y sin ella el organismo no captaría los nutrientes ni lograría la expulsión de sus desechos. También se vincula a gran parte de las tareas cotidianas, como la preparación de alimentos y para la higiene; igualmente se aprovecha como elemento de ornato en parques y jardines o para actividades recreativas.

Por lo anterior, desde épocas muy tempranas, el hombre en su afán por la búsqueda del agua, establecerá sus primeros asentamientos donde la hubo, bien fuera a cielo abierto como en los ríos, lagos, lagunas, manantiales y mares, o en los lugares de aguas subterráneas donde descubría que podía ser extraída de suelos poco profundos.

Su relación con la agricultura también es de suma importancia, debido a que las tierras que producen mayores y mejores cosechas son las que se encuentran donde existe agua suficiente para irrigarlas.

Pero si bien el agua ha sido muy preciada en todos los tiempos, lo fue más aún cuando el hombre descubrió, por medio de la observación, que el líquido también era una fuente de energía.

La energía hidráulica fue sustituyendo poco a poco el trabajo rudimentario del hombre en la obtención de satisfactores, convirtiéndose en un importante detonador para el establecimiento de núcleos de producción. Por la necesidad de tener una distribución real y efectiva del preciado líquido surgieron lentamente, con diferentes acepciones, la ciencia y los especialistas encargados del conocimiento y manejo del agua.

Este trabajo tiene al agua como eje de articulación, así como la relación entre el ofi-

* Dirección de Estudios Históricos-INAH.

¹ Joseph Sáenz de Escobar, "Geometría práctica y mecánica dividida en tres tratados, el primero de medidas de tierra, el segundo de minas, el tercero de aguas", México, Archivo de la Secretaría de Hacienda (Biblioteca de la Secretaría Hacienda), 1749 (manuscrito).

cio de la hidromensura y los hidromensores como oficiales; su exposición se divide en tres temas: “Agua y oficio”, “Agua y legislación” y “Agua, producción y arquitectura”, donde se trata de comprender la aplicación de una legislación, ordenanzas y tratados que dieron respuesta a diversos problemas generados por el mencionado líquido.

Agua y oficio

Debido a la vinculación del agua con la agricultura se dan las primeras mediciones, hasta ahora conocidas, de tierra y de agua; dichos avances surgieron a orillas del río Nilo. Durante la III dinastía faraónica se dispuso a los sacerdotes que investigaran cómo se podría saber el nivel que alcanzarían las aguas provenientes del Alto Nilo que llegaban cada año al Bajo Nilo desbordándose de su cauce natural, y que también establecieran qué cantidad de tierra quedaría humedecida una vez que el agua descendiera a su nivel real. Tal inquietud era compartida por los dueños de terrenos aledaños, quienes durante cada periodo de inundación perdían los límites reales de sus propiedades.

Para los egipcios era importante conocer la medida de las tierras que habían permanecido anegadas, porque éstas quedaban impregnadas con un limo que las hacía muy productivas. Sabiendo qué porción de tierra buena tendría cada productor, tendrían un cálculo aproximado de la cantidad de granos que se cosecharía, valor que era aprovechado por los faraones para determinar los impuestos. Unido a la medición de los terrenos afectados surgen los primeros instrumentos de medición, necesarios para la precisión de los trabajos. Conforme a los trazos de dichos responsables se hacía la devolución a cada agricultor de las tierras que les correspondían.²

² Manuel G. Alcázar Molina, “El catastro y su evolución has-

Herodoto de Alicarnaso (ca. 484-420 a. C.) relata que en Egipto los *harpedonautas*,³ “estiradores de cuerdas”, eran los encargados de definir las medidas que tenían los terrenos cercanos al Nilo antes de la afectación anual provocada por el desbordamiento del río. La solución arquitectónica por excelencia era la mencionada por Estrabón (63-19 a. C.), quien describe que en Egipto existía una construcción escalonada, con mediciones laterales, que se empleaba para medir el nivel de las aguas del río; Plinio *el Viejo* (23-79 d. C.) explica que la medición de la subida y bajada del agua en dichas construcciones escalonadas determinaba la escasez o abundancia de granos. En resumen, el *nilómetro* regulaba la economía del pueblo.

A los especialistas en pesar (nivelar), conducir y distribuir el agua adecuadamente se les llamó *hydromensores*;⁴ ellos también eran los encargados de suministrar su abasto y captación, desde varios siglos atrás, mucho antes de que se definieran los conceptos y las fórmulas para determinar su peso y velocidad. Las soluciones que daban dichos especialistas las hacían con base en razones y proporciones numéricas o mediante el dibujo de diversos trazos; la geometría y las matemáticas fueron disciplinas indispensables tanto para los hidromensores como para los agri-

ta el siglo XVI”, en *Revista CT* (catastro 39), Madrid, Dirección General de Catastro, Ministerio de Economía y Hacienda, Gobierno de España, julio de 2000. El autor considera que estos levantamientos son los primeros catastros rústicos o inventario de bienes inmuebles.

³ Estos personajes debían medir las áreas para así restaurar los derechos de aquellos a quienes las aguas del Nilo en cada creciente transformaba su propiedad.

⁴ Del griego *hidros*, “aguas”, y *mentor*, “medidor”. También se les llamaba fontanero o frontero; véase Leonardo F. Icaza Lomeli, “De agua y arquitectura novohispana”, en *Bitácora arquitectura* 16, México, Facultad de Arquitectura-UNAM, 2007, p. 54. Otras denominaciones fueron las de *aquiliges* o *aquilices*; véase Mariano Galván Rivera, *Ordenanzas de tierras y aguas* (facs. de la 5a. ed., 1868), México, CIESAS (Archivo del Agua, Col. Agraria), 1998, p. 266.

mentores, estos últimos eran los especialistas encargados de las mediciones de tierra.

Los hidromensores, encargados de medir el agua, junto con los agrimensores, medían la topografía del terreno. El conocimiento de los niveles del terreno era indispensable para que los hidromensores buscaran el lugar donde las pendientes del terreno fueran más adecuadas para “que el agua reconozca”; es decir, que pudiera correr bien. Con la ayuda de estacas y cordel trazaban tentativamente las líneas por donde pasaría el líquido.

Era necesario ver y valorar cuál era la parte más alta y cuál la más baja, lo que se resolvía con la toma de niveles de suelo, pero también era necesario considerar qué proporción debía tomar la inclinación, cuál era la adecuada para los conductores, tema por demás controvertido, pues “[...] no basta solamente haber altura, sino es la necesaria y cuanto sea la que se requiera [...]”.⁵

Para determinar lo anterior el medidor debía tener pleno conocimiento de todos los lugares por donde cabría la posibilidad de conducir el agua, porque así podría escoger la mejor ruta y con el menor costo:

[...] los inconvenientes o dificultades que por una parte se encuentran, pueden no ofrecerse por otra, o sea mas fácil vencerlos, y por eso es menester una y muchas veces reconocer, ver y rever lo que más importa [...].⁶

Los errores en el manejo del agua que llegaban a causar perjuicios eran responsabilidad de los medidores de agua o hidromensores, quienes en la mayoría de las circunstancias debieron cubrir las costas o gastos, por ello debían ser muy precisos en sus observaciones y así lo asienta Joseph Sáenz de Escobar en su *Tratado tercero*

⁵ Joseph Sáenz de Escobar, *op. cit.*, Tratado tercero de aguas, f. 6v.

⁶ *Ibidem*, f. 9v.

de aguas, donde cita como necesidad ver si efectivamente se puede traer el agua de donde se propone, diciendo que es importante “[...] reconocer el lugar de donde se a de sacar el agua y el lugar para donde se ha de conducir, la distancia de uno a otro y la altura del uno con la delineación del otro [...]”.⁷

La diferencia de altura del suelo se obtenía con técnicas e instrumentos que se fueron perfeccionando y prolongaron su uso hasta el siglo XVII.

Un aparato muy utilizado fue el nivel. Éste se componía de las dos piernas, la traviesa y el péndulo. Christoval de Rojas,⁸ en la descripción que hace para su fábrica, señala que el nivel medía 20 pies de punta a punta y diez pies en su altura (5.60 × 2.80 m). Según el fraile Lorenzo de San Nicolás,⁹ el aparato podía alcanzar una extensión menor, una separación de diez pies y una altura que mediría la mitad (es decir cinco pies, por lo que vendría a ser de 2.80 × 1.40 m), siendo más fácil de transportar que el referido por Rojas.

Las piernas del nivel terminaban en puntas de metal que se iban apoyando sobre los “tejuelos”, que eran pequeños orificios de las tablillas. Dichas tablillas generalmente medían una tercia de vara y se iban colocando sobre las distintas capas de tierra. En la traviesa se encontraban referenciadas las medidas deseadas, pudiendo ser 1/2 pies, 1/4 de pies o dedos, según la precisión que se quisiera; de la unión de las piernas salía el péndulo o plomada; éste, al quedarse quieto, daba el valor (figura 1).

⁷ *Ibidem*, f. 6v.

⁸ Christoval de Rojas, *Teoría y práctica de fortificaciones, conforme las medidas y defensas destos tiempos, repartida en tres partes*, Madrid, Luis Sánchez, año de 1598, p. 83; CD, *Fuentes para la historia de la construcción. Selección de tratados españoles de arquitectura y construcción, siglos XVI-XX*, a cargo de Santiago Huerta, Cádiz, Diputación de Cádiz/Instituto Juan de Herrera/Arquitectos de Cádiz, 2005.

⁹ Fray Lorenzo de San Nicolás, *Arte y uso de architectura*, primera parte, t. I., Valencia, Albatros, 1989, fs. 126-127v.

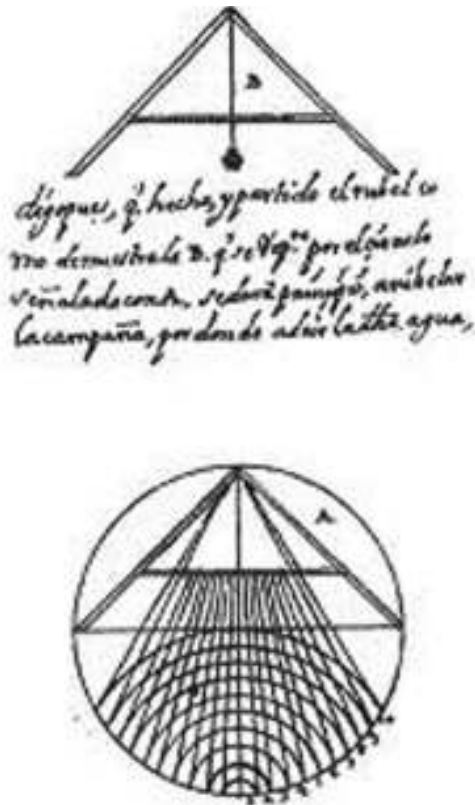


Figura 1. Nivel. Christoval de Rojas, *Teoría y práctica de fortificaciones, conforme las medidas y defensas destes tiempos, repartida en tres partes*, cap. 68, Madrid, Luis Sánchez, 1598, f. 123.

Los cambios de medidas registrados por la travesía se iban sumando y restando; el total señalaba los cambios de altura entre la distancia requerida, que había iniciado desde la fuente de abastecimiento de agua y que comprendía todo el terreno, dando mayor atención al lugar donde se hubiera detectado la posible ubicación del inmueble o de la toma de agua.

Otro instrumento utilizado por agrimensores e hidromensores fue el corobate del que Vitruvio, en su libro, hace una descripción¹⁰ y al cual consideraba que era más fidedigno que el anterior, porque pensaba que la plomada del compás



Figura 2. Corobate. Marco Vitruvio Polión, *Los diez libros de arquitectura*, lám. II, fig. 7, Madrid, Akal, 2001 [1787].

podía ser movida por el viento, lo que sería causa de error en la medición (figura 2).

El corobate es un instrumento igualmente heredado. Se trata de una mesa larga de madera y de patas cortas que facilitaban el transportarla y acomodarla en declives; en el travesaño que unía las patas se dibujaba la graduación en que se mediría la diferencia de altura del suelo, las cuales eran señaladas por las plomadas que tenía colocadas a cada lado del dicho travesaño; aparte de ellas, en la superficie de la mesa había una ranura donde se ponía un poco de agua, que ayudaba a señalar las diferencias de nivel. Con el aparato se iba recorriendo toda la ruta y en papel se registraban las variaciones encontradas sumando y restando, como con el compás de nivel. Ambos instrumentos fueron de gran precisión y de uso común.¹¹

Por último, el medidor debería comprobar las medidas que realizó. El mismo autor sugiere que la mejor forma de revisión era efectuarla nuevamente de abajo hacia arriba y con un instrumento de medición diferente al ya utilizado, “[...] la medida haciéndola desde las tierras hasta la presa, para ver si la primera está bien hecha [...]”,¹² lo que permitiría percibir mejor el error en caso de que lo hubiera.

¹⁰ Marco Lucio Vitruvio Polión, *Los diez libros de arquitectura*, cap. VI, trad. y comentarios de José Ortiz y Sanz, Madrid, Akal, 2001 [1787], pp. 203-204.

¹¹ Otros instrumentos muy utilizados durante el siglo XVIII fueron la plancheta y el aguijón, empleados para el mismo fin: la obtención de niveles.

¹² Joseph Sáenz de Escobar, *op. cit.*, f. 9v.

Vitruvio (ca. 65-39 a. C.), en *Los diez libros de la arquitectura*,¹³ señala que el cálculo para determinar las pendientes era guardando una proporción; por una distancia de cada 100 pies de recorrido se debía dar una diferencia de 1/2 pie, lo que equivaldría actualmente a que por cada 28 m debía haber un declive de 14 cm, o sea 0.005 por ciento de pendiente. En el siglo XVII, a la misma proporción de Vitruvio se sumaron fray Lorenzo de San Nicolás¹⁴ y Simón García.¹⁵

Anteriormente, Plinio *el Viejo* (61-114 d. C.) consideró que para el mismo recorrido la proporción correspondía a cuatro dedos (7 cm). Esta medida define una pendiente de menor inclinación, pues daría un 0.0025 por ciento.

Posteriormente, Andrea Palladio (1508-1580) estableció que para la misma distancia de 100 pies lo más adecuado era un pie y medio. Haciendo la conversión, 1/2 vara correspondería a 0.015 por ciento.¹⁶

Fray Andrés de San Miguel (1577-1652) consideraba que a lo largo de mil pasos geométricos, “que tenga el vado mas bajo un pie entero de la del lugar donde se rompió la roca y fue hallada el agua [...]”.¹⁷ Según las ordenanzas del virrey don Antonio de Mendoza, en un paso geométrico cabían 5 pies de vara castellana, por lo que un pie correspondería a 0.0002 por ciento de pendiente.

Ya en pleno siglo XVIII, Plo y Camín (1737)¹⁸ consideraba que, sobre la base de su práctica, es suficiente para cada 100 varas dejar una pulgada de pendiente; con dicha proporción, decía, “corre agua en suficiente cantidad”. Habría una pendiente mínima de casi 0.0003 por ciento.

Joseph Sáenz de Escobar (1749)¹⁹ en su tratado considera como mejor pendiente 1/4 de vara por cada 100 varas, es decir, 0.0025 por ciento.

Siendo los criterios tan variados, cada medidor de agua, apoyado en sus experiencias, seguía las proporciones que consideraba más adecuadas para la planeación del proyecto. Estos conocimientos y experiencias serán practicados por los gobiernos dominantes en los pueblos sometidos.

En América, en las tierras conquistadas por los españoles, los valores europeos relacionados con la apreciación del agua generaron una imposición de fuerzas y criterios que afectaron la tradición ancestral de los pueblos indígenas, quienes durante muchos siglos habían rendido tributo al agua en calidad de deidad.

En la Nueva España las tierras cambiaron de dueño. Las mejores tierras, minas, montañas, el agua y todo lo que por derecho pertenecía a los indígenas pasó a ser de la Corona, por lo que fueron tierras realengas. Su regalía u otorgamiento lo concedía el rey por servicios militares o mediante la solicitud de mercedes de agua y tierra a través de las autoridades virreinales. Desde los primeros años los soldados españoles, las órdenes religiosas y demás gente venida de otras latitudes codiciaron y lucharon por poseer los sitios donde había agua y las tierras cercanas a ella, propiciando su acaparamiento que no pocas ve-

¹³ *Ibidem*, libro octavo, cap. VII, pp. 203-204.

¹⁴ Fray Lorenzo de San Nicolás, *op. cit.*, cap. LXVIII, p. 127; véase Marco Vitruvio Polión, *op. cit.*, libro octavo, cap. VII, pp. 204-208.

¹⁵ Simón García, *Compendio de arquitectura y simetría de los templos. Conforme a la medida del cuerpo humano. Con algunas demostraciones de razones y proporciones. Año de 1681*, Valladolid, Colegio Oficial de Arquitectos en Valladolid, 1991, cap. 68, f. 123v.

¹⁶ Marco Vitruvio Polión, *op. cit.*, comentarios de José Ortiz y Sanz, p. 204.

¹⁷ Eduardo Báez Macías, *Obras de fray Andrés de San Miguel*, México, IIE-UNAM, 2007, p. 296. Véase Mariano Galván Rivera, *op. cit.*, p. 155.

¹⁸ Antonio Plo y Camín, *El arquitecto práctico, civil, militar y agrimensor* (copia facs.), Valencia, Librerías París-Valencia, 2001, p. 538, cita: “El Padre Tosca, con el Padre Milliet, son de sentir, que a cada 1000 pasos se le de un pie de pendiente (véase la citada prop. 7, libro segundo, trat. 13 de Tosca)”.

¹⁹ Mariano Galván Rivera, *op. cit.*, p. 278.

ces se dio con el despojo de muchos terrenos que desde tiempos inmemorables habían pertenecido a comunidades indígenas.

Valiéndose de la abundancia de agua y tierra, una de las primeras instalaciones que estos grupos procuraron establecer en sus propiedades fue la construcción de diversos molinos, aprovechando la energía producida por el agua. Un molino, como su nombre lo indica, es una edificación destinada a la molienda y que alberga entre sus espacios máquinas, llamadas también molinos, cuyo mecanismo tritura o pulveriza determinada materia prima.

Los sitios para la producción donde se empleó propiamente la energía del agua fueron los molinos hidráulicos, donde no sólo se utilizó el líquido para el movimiento de las máquinas, sino también a lo largo del proceso para la obtención de satisfactores. Se construyeron molinos movidos por agua para la obtención de azúcar, de harinas y para la extracción de minerales, entre otros usos. Otras construcciones no estaban propiamente destinadas para moler, como el caso de lo aserraderos, batanes o fuelles, pero contaron con máquinas movidas por agua, también se les ha considerado y denominado molinos hidráulicos. De los primeros molinos hidráulicos referidos, los de caña de azúcar y trigo son de los ejemplos que más se conservan en México y de los que existe mayor información documental.

Parcialidades de terrenos concedidos por merced real, compra, donación, heredad o usurpación, fueron conformándose en grandes extensiones de tierra que luego darían lugar a las denominadas haciendas, fincas rurales donde se empleaba mucha mano de obra para realizar tareas dedicadas a la producción. De acuerdo con su producción las haciendas se pueden clasificar en cinco tipos: cerealeras, ganaderas, azucareras, pulqueras y de

productos tropicales.²⁰ En éstas el empleo del agua fue desmedido, demandándola en mayor cantidad que la empleada para el uso doméstico de pueblos y ciudades.

Por lo anterior, las haciendas requirieron de un excelente sistema hidráulico, constituyéndose tal vez en la parte más importante porque de él dependió su funcionamiento y productividad, más aún si entre sus instalaciones edilicias se encontraban molinos movidos por agua. La topografía del terreno, la ubicación de las haciendas, molinos, pueblos, comunidades, barrios y demás usuarios se consideraban para definir cuál sería la dirección que se daría al agua.

Agua y legislación

El agua siempre fue motivo de conflicto; su posesión generaba mejor estabilidad económica y poder. La posesión del agua en manos de particulares mucho se debió a que al otorgar las mercedes de tierra, si ésta quedaba dentro de los límites de sus propiedades entonces tenían derecho a su privacidad, y podían compartirla, enajenarla o regalarla bajo sus condiciones. Siendo las fuentes de agua propiedad de quienes fueran las tierras donde se encontraban, los ríos, manantiales, lagos, arroyos o pozos se consideraron parte de ellas, así como el fruto y madera de los árboles. Sin embargo, aunque poca obligación les podía imponer la autoridad a los particulares, se establecieron reglas para el beneficio público y también se aplicaron al agua de uso común.

Los virreyes, la Audiencia y demás autoridades virreinales establecieron su control y distribución por medio de ordenanzas y reglamentos, materializándola en las datas o tomas de agua.

²⁰ Gisela von Wobeser, *La formación de la hacienda en la época colonial. El uso de la tierra y el agua*, México, UNAM, 1989, p. 69.

La necesidad de conceder un uso equitativo incrementó la demanda de los especialistas en su medición y repartición; sus conocimientos y experiencias se fueron transmitiendo para preservarse a través de manuales y tratados, mismos que en múltiples casos sirvieron como guía u orientación para la resolución de problemas. Sus libros reseñan sus experiencias con un lenguaje propio, donde el conocimiento de la geometría y las matemáticas trató de ser sencillo y claro. Muchos fueron los tratadistas que dedicaron parte de su vida a estudiar el óptimo aprovechamiento del agua y transmitir a través de escritos la experiencia acumulada; al parecer de estos maestros, la teoría sin la práctica llevaba al fracaso en su medición y disposición.

Llegó a ser tan importante el control del agua que, aunado a la actividad de los maestros hidromensores, se crearon otros cargos como los mayordomos del agua o los responsables de realizar las vistas de ojo, quienes estaban encargados de la inspección y supervisión del manejo de las mercedes otorgadas y además habían probado sus conocimientos mediante la presentación de un examen. Otro cargo igualmente importante era el de *aquario*,²¹ que era el responsable del surtimiento de las aguas de la ciudad de México, encargado de su administración y guarda.

Respecto a los molinos movidos por agua, ésta generaba el movimiento de las ruedas hidráulicas, que a su vez lo incidía en las máquinas para moler. La buena disposición, el cálculo y precisión en la caída del agua aumentaba o disminuía el trabajo de las máquinas. Las ruedas hidráulicas también generaron una tipología de acuerdo con su posición longitudinal o transversal; los dos tipos se adaptaron a la geografía del lugar, la economía del propietario, la demanda y

naturaleza del producto, lo mismo que a las máquinas molederas.

Por ordenanzas reales a los molinos les correspondía un solar de 50 varas en cada lado, con el que se tenía una superficie de 2 500 varas cuadradas; generalmente dicho solar formaba parte de otras extensiones de tierra que habían sido mercedadas al propietario y que no pocas veces incluían los abastos de agua.

Agrimensores e hidromensores dominaron el arte de medir los terrenos y distribuir el agua, controlando su volumen y presión. Dichos especialistas calcularon y diseñaron importantes sistemas para el suministro y desagüe, así como enormes redes que se entretejían llevando y trayendo agua a través de valles, montes y llanuras, siempre en una perenne búsqueda de las mejores soluciones para obtenerla, captarla, retenerla y conservarla.

Las ordenanzas pregonadas el 4 de julio de 1546, emitidas por el primer virrey de la Nueva España, Antonio de Mendoza, fueron confirmadas en 1567 por el virrey de Peralta, marqués de Falces; en ellas se establecían las datas, marcos, tomas o medidas con las que debía distribuirse el agua, repartición que se hacía ante una autoridad, un ministro de la Real Audiencia o bien un juez.

Para saber cuánta agua se podía tomar del abasto, los hidromensores debían estimar la cantidad de agua provista en dicha fuente. La que aforaba del cauce natural de los ríos se hacía buscando el tramo del lecho que tuviera la superficie más plana, con la menor pendiente posible y donde sus orillas estuvieran más rectas, casi a plomo. En ese sitio se ajustaba un marco de madera que debía tener su mismo largo y ancho; en sus barras laterales se ponía cualquier graduación útil para definir la altura que tomaría el agua al pasar por dicho marco. El cálculo de la

²¹ Mariano Galván Rivera, *op. cit.*, p. 264. Por ley así se le denominaba.

superficie equivalía a la cantidad de agua que fluía y de la cual se podía disponer.

Otro proceso más sencillo era con cordeles bien tensados con los que se medía la longitud; la verticalidad se obtenía usando otros cordeles con plomadas en uno de sus extremos; éstos se introducían y, al extraerlos, se medía el tramo mojado, que sería la altura del agua; después se procedía a multiplicar ambos datos para obtener la superficie. Lo mismo se hacía para un marco de forma trapezoidal o cuadrada; en todos los casos, los marcos o cualquier herramienta debían quedar perfectamente ajustados a la sección por medir.

Cuando el ancho del río era muy grande, o tenía pocas ramificaciones, el agua corría con demasiada fuerza; ante esto se hacían brazos artificiales que permitían desviar el agua a determinados terrenos. Estos cauces artificiales beneficiaron principalmente a los dueños de molinos y se les denominó “herido de molino”; con el mismo objetivo se hicieron grandes acequias o canales. Los mismos procedimientos descritos para la medición de los afores en los ríos se empleaban para medir el agua de heridos, manantiales y acequias. Dependiendo de la cantidad de agua que se les asignaba, cada usuario aprovechaba esa dotación para sus tierras de labor, la molienda de granos, un batán o cualesquiera otros molinos que tuviera.

De acuerdo con la cantidad de agua de los ríos, arroyos, heridos, presas, estanques, acequias o de los almacenadores de que se tratara, se hacía la distribución de agua. Para ello, la superficie obtenida con el marco del afore se debía repartir obedeciendo las medidas establecidas en las ordenanzas.

El buey de agua era la más grande y correspondía a una vara cuadrada; a su vez, esta medida se dividía en 48 rectángulos que tenían por su

lado largo una sesma y por el corto un ochavo; a esta medida se le llamó surco o sulco. Un surco, a su vez, se fraccionaba en tres rectángulos denominados naranjas; la naranja se partía en ocho limones o reales, y éstos se subdividían en 16 fracciones conocidas como pajas.

La proporción de las medidas correspondía a diversos objetivos. Un buey equivalía a la superficie del tórax del animal; la naranja y el limón correspondían a la superficie que quedaba al partir por la mitad dichos cítricos respectivamente, y la paja era la circunferencia que tenían las plumas de ave que se empleaban para escribir.

Al limón también se le daba el nombre de real, porque era coincidente con el diámetro de esa moneda virreinal y con el ancho de dos dedos. Respecto al surco, éste correspondía a la abertura que sobre la tierra iba haciendo el arado para que corriera el agua.

A su paso, el agua podía ser aprovechada por varios usuarios conforme al derecho de servidumbre²² y se podía utilizar permanentemente o durante determinadas horas en la mañana o en la noche, denominándosele tandas diurnas o nocturnas. El sitio de abasto podía ser la fuente de origen o cualquier parte de su cauce, siempre y cuando hubiera suficiente agua corriente o depositada, y podía ser propiedad privada o pública.

Para facilidad en la obtención de proporciones aritméticas y el dibujo de trazos geométricos también se utilizó el dedo pulgar como medida de agua. Una vara medía 48 dedos, así que el buey tenía 2 304 dedos cuadrados; los surcos eran rectangulares, medían en sus lados 8 y 6 dedos; la

²² Mariano Galván Rivera, *op. cit.*, p. 264. “La servidumbre del aquaeducto” es el derecho de conducir el agua, por el fundo o campo ajeno, para regar el campo propio, o el de algún otro por derecho de alguna servidumbre establecida.

Tabla 1.

<i>Medida</i>	<i>Buey</i>	<i>Surco o sulco</i>	<i>Naranja</i>	<i>Real o limón</i>	<i>Paja</i>	<i>Dedos</i> (<i>número de dedos,</i> <i>largo y ancho</i>)
Buey	1	48	144	1 152	20 736	48 × 48
Surco		1	3	24	432	8 × 6
Naranja			1	8	144	8 × 2
Real				1	18	2 × 1
Paja					1	1/3 × 1/4

naranja, también rectangular, tenía 8 y 2; el real, con igual figura, media 2 y 1 dedos, y la paja 1/3 por 1/4 de dedo en sus lados. Indistintamente también se transportaban a fracciones de la vara castellana: medias varas, pies o tercias; palmos o cuartos, sesmas y ochavos.

Las salidas de agua tomaban la forma que se quería utilizar. Siendo diestros en sumas, restas, raíz cuadrada o cúbica, además del manejo de proporciones y reglas de tres con varas y sus fracciones, los maestros hidromensores resolvían con exactitud lo mismo problemas con compás y escuadra que con números enteros y quebrados (tabla 1).

Con el manejo del compás y las escuadras los medidores de agua también podían fácilmente transportar las datas rectangulares a cuadradas o circulares; las cuadradas a rectangulares y circulares, y las circulares a rectangulares y cuadradas.

El rectángulo que se ilustra en la figura 3 tiene una superficie de 1/6 de vara cuadrada, mide de base 1/2 vara (un codo) y de peralte 1/3 de vara (un pie), proporción muy utilizada en la conducción de agua. Con base en sus medidas se hicieron los cambios de figura, verificándose que, como dicen los tratadistas, al cambiar de cuadrado a círculo el segundo pierde un mínimo de su superficie, pero también aclaraban que si se que-

ría un resultado exacto recurrieran a la compleja fórmula matemática, con razones y proporciones y raíz cuadrada de quebrados, que ellos también habían heredado.

Por las ordenanzas sabemos que los molinos de trigo tendrían una dotación de ocho surcos de agua continuos; a los ingenios de azúcar se les daría igual dotación; las tierras destinadas a la siembra de caña tendrían cuatro surcos de agua; los batanes tomarían una dotación de tres surcos, y para el riego de caballerías de tierra se dispondría de dos surcos (figura 6).

También con la geometría podía aumentar o disminuir el número de datas cuadradas o circulares para obtener el número de dotación correspondiente. Los trazos con las medidas exactas se dibujaban en cartón, para que después se utilizaran como patrón.

Pero los hacendados y dueños de molinos no siempre se ajustaron a tales disposiciones, constantemente argumentaban que era necesaria más cantidad de agua, pues debía ser utilizada para otras tareas, como en los molinos de trigo, cuyos dueños defendían que se empleaba no sólo para el lavado del trigo sino también para la energía de las máquinas y los animales, de suerte que siempre se las ingeniaban para mercedar más (figura 7).

Aplicación de la geometría para la obtención de datas de diferente figura

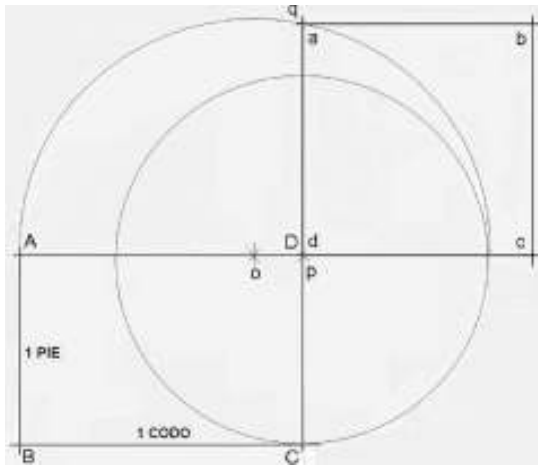


Figura 3. Rectángulo a cuadrado. Plo y Camín, *El arquitecto práctico, civil, militar y agrimensor*, Proposición XXXVI-1, Valencia, Librerías París-Valencia (copia facs.), 2001, pp. 90-91.

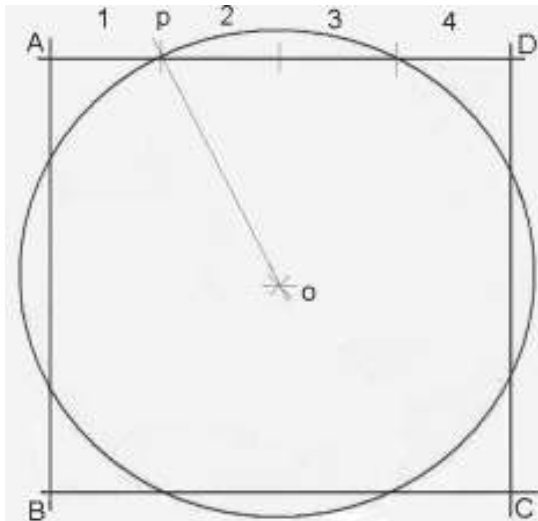


Figura 4. Cuadrado a círculo. Plo y Camín, *ibidem*, Proposición XXXVII-3, pp. 93-94.

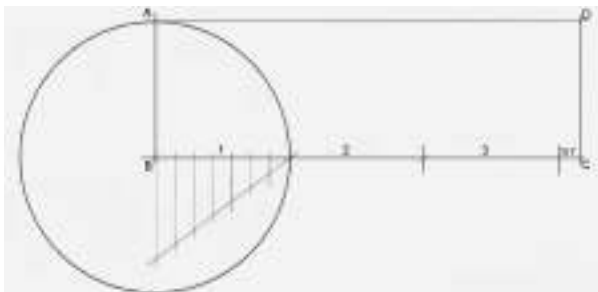


Figura 5. Círculo a rectángulo. Plo y Camín, *ibidem*, Proposición XXXVII-1, p. 92.

BUEY (una vara cuadrada)

SURCOS									
18	1	2	3	2					144
36	19	20	21	8					288
54	37	38	39	14	15	16	17	18	432
72	55	56	57	20	21	22	23	24	576
90				26	27	28	29	30	720
108				32	33	34	35	36	864
126				38	39	40	41		1008
144	43	44	45	46	47				1152
NARANJAS					REALES				

Figura 6. Buey (una vara cuadrada. Interpretación de medidas por la autora, 2008.

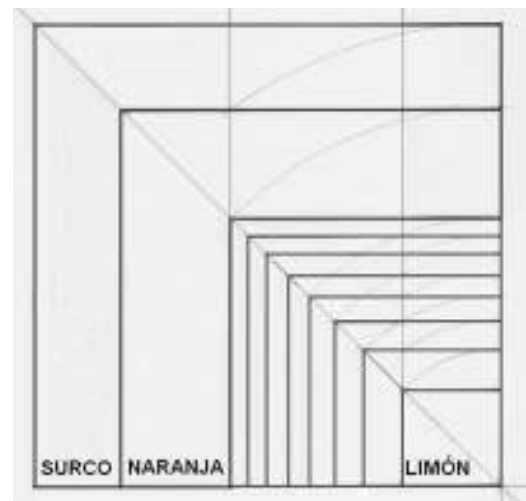


Figura 7. Progresión geométrica en datas cuadradas. Joseph Sáenz de Escobar, *Geometría práctica y mecánica dividida en tres tratados...*, op. cit.

Agua, producción y arquitectura

Un sistema hidráulico está integrado por actividades como el abastecimiento, almacenamiento, distribución y conducción del agua, mismas que definen soluciones generales y particulares de la arquitectura y, por consecuencia, de la producción.

Abasto

Los trabajos para la instalación del sistema hidráulico iniciaban con las tareas de los hidromensores, quienes ubicaban el lugar donde se debía efectuar el abasto de agua. Dicho abasto podía ser de agua corriente como la procedente de los manantiales, de los ríos, arroyos, etcétera o de agua remanente, almacenada en contenedores como las presas, estanques o cualquiera otro.

Una vez definido el sitio se procedía a revisar si correspondía a una propiedad pública o privada. Si había alguna persona que reclamara su posesión, era necesario verificar si la fuente de agua se encontraba dentro de los límites de las mercedes de tierra que le habían sido concedidas.

Con cordeles de hilo o mecate encerados y bien tensados, los agrimensores hacían el trabajo; eran los encargados de medir los sitios de ganado mayor y menor; los criaderos de ganado mayor y menor, las caballerías de tierra, las fane-gas para sembradura de maíz o trigo comprendidas en los límites donde el propietario decía tener la posesión del agua.

Cuando el agua estaba dentro de los límites de una propiedad se podía disponer de ella por adquisición, mediante un arreglo de arrendamiento, por herencia, donación o por una orden oficial. Siempre que fuera necesario, todo usuario debía avalar con algún documento legal su derecho de uso, pues en caso de conflicto no procedía antigüedad ni que el cauce del que la tomaba fuera natural. Al mismo tiempo estaba prohibido que los propietarios cambiaran, a su libre albedrío, el recorrido original del agua en perjuicio de otros usuarios que ya eran beneficiados.

Si la fuente de abasto destinada para algún pueblo, villa, molino hidráulico o cualquier otro uso concedido quedaba distante del lugar donde se iba a suministrar, el hidromensor determina-

ba cómo y de dónde traerla, pero siempre obediendo a disposiciones legales.

Almacenamiento

Para la mayoría de los dueños de haciendas y molinos las mercedes de agua que les habían sido otorgadas nunca fueron suficientes. Para asegurarse mayor cantidad del líquido recurrieron a la construcción de almacenadores o contenedores. Presas, represas, lagunas, estanques, cisternas, piletas, aljibes y jagüeyes formaron parte del sistema hidráulico de la arquitectura para la producción.

Siendo el agua tan preciada, sobre todo en los lugares donde no era abundante o escaseaba, también el agua de lluvia fue captada por diversos medios; uno muy común fue la utilización de canaletas, de variados materiales, colocadas para recibir el líquido que resbalaba por las cubiertas y conducirla a cualquier tipo de almacenador, principalmente cisternas, piletas y pozos, de donde se extraía o era conducida para distintos usos (figura 8).

Otra manera de almacenar el agua de lluvia fue en los jagüeyes: por medio de canales a ras de los suelos el agua se conducía a agujeros de grandes dimensiones para ser retenida. A la de algunos de ellos se le daba varios usos; la que llevaba tierra y basura servía para el baño de los animales y como abrevadero, el agua limpia se destinaba a otros servicios. Por medio de diques la iban filtrando; por la ley de gravedad, el peso de los desechos hacía que se fueran al fondo; al irse asentando, el agua que no estaba relativamente contaminada quedaba en la superficie y a manera de cortina se deslizaba por el dique y caía a otra área, de donde la tomaban para otros fines (figura 9). Muchas haciendas y molinos, a pesar de contar con presas, aumentaban su abasto con



Figura 8. Captación de agua de lluvia en la mina Dos Estrellas, siglo XIX. Tlalpujahua, Michoacán. Fotografía de Yolanda D. Terán Trillo, 2008.



Figura 9. Jagüey con abrevadero en la hacienda de Xala, siglo XVII, Estado de México. Fotografía de Yolanda D. Terán Trillo, 2006.

este tipo de recursos. Ambas soluciones se continuaban practicando en algunas regiones del país. Aparte de garantizar el abasto del agua, los contenedores cumplían con la función de retener el impulso del agua, la fuerza que traía la corriente de los cauces naturales a la salida de los almacenadores se tornaba más suave.

De los ríos y lagos se sacaban canales de desviaciones desde sus orillas para formar las presas; tratándose de manantiales, se recogían directamente en un contenedor. Los almacenadores también ayudaban a que las aguas se decantaran para que la arena propia de la fuente de origen no afectara las ramificaciones o salidas que tendría. Así como existen diferentes tipos de contenedores, de igual manera sus figuras, dimensiones, perímetro y construcción fueron muy variadas; sus medidas, materiales y sistemas estaban en función de la capacidad de almacenamiento que se quería tener.

Las presas y represas grandes, en la mayoría de sus construcciones, registran en sus muros interiores una inclinación, no siempre pronunciada, porque aun con poca inclinación tal disposición aligera la entrada brusca del líquido y al

mismo tiempo disminuye el desgaste de las paredes provocado por el rozamiento natural del agua; sin embargo, también puede tomar la forma recta.

La solidez e impermeabilidad de la construcción de los contenedores, sobre todo cuando eran de grandes dimensiones, debía seguir una determinada técnica, una de ellas es la que propone el fraile Lorenzo de San Nicolás,²³ quien sugería que el terreno donde se fuera a levantar una presa debía tener la altura mínima de un tercio de vara (un pie), conformado por varias capas muy bien apisonadas y con suficiente agua; la primera sería de cal, seguida por otra de piedra; dichas capas se debían ir colocando de manera alterna hasta alcanzar la altura indicada. Los muros debían ser anchos, rellenos de material pétreo y mortero. Su espesor se lograba siguiendo proporciones geométricas; una de las más utilizadas era la que tomaba por ancho un tercio de la altura que se le iba a dar.

Fray Lorenzo de San Nicolás proponía que los

²³ Lorenzo de San Nicolás, *op. cit.*, primera parte, cap. LXXI, f. 132.

almacenadores debían tener un muro exterior y otro interior, “[...] de tal suerte que en entre una y otra pared quede el grueso que a de tener la pared del estanque, que será de grueso por la septima parte de su ancho [...]”,²⁴ siempre y cuando esta medida no excediera de 50 pies; asimismo recomendaba que si se excedía se dejaran aconsejar por prudentes maestros. Esta propuesta no era para los muros que estaban inclinados en su pared exterior, ya que con esa inclinación podían ser más delgados. La misma propuesta fue avalada por Simón García.²⁵

Las paredes que recibirían el agua estaban recubiertas por tres o cuatro capas de bloques de piedra, preferentemente grandes, unidas con mezcla de cal y arena fina; recomendaba hacerlo en una proporción de dos a cinco. También, para mayor efectividad, solían agregar ladrillo o teja pulverizados que funcionaría como impermeabilizante. Respecto a los depósitos cerrados, como las cisternas, igual que las presas, sus paredes debían ser cubiertas por gruesas capas de argamasa.

En el plano de los molinos de Tlalmanalco y Chalco (1610) se aprecia en el ángulo superior derecho el pueblo de Tlalmanalco. El río Chalco corre de oriente (plano superior del dibujo) a poniente (plano inferior del dibujo); en su paso alimenta dos molinos (molino de Carillo y molino de Sánchez) para luego ser captado en la presa del mismo nombre de Chalco, de la que salen dos tomas: una llega a la laguna —de ella se alimentaría un molino que pretendía establecer Domingo Rodríguez, dueño de la hacienda que se extiende a los lados del camino a Chalco marcado con pisadas— y la segunda lleva agua al pueblo de Chalco, situado en el ángulo inferior derecho del croquis (figura 10).

²⁴ *Ibidem*, cap. LXX, f. 132v.

²⁵ Simón García, *op. cit.*, cap. 68, f. 123v.

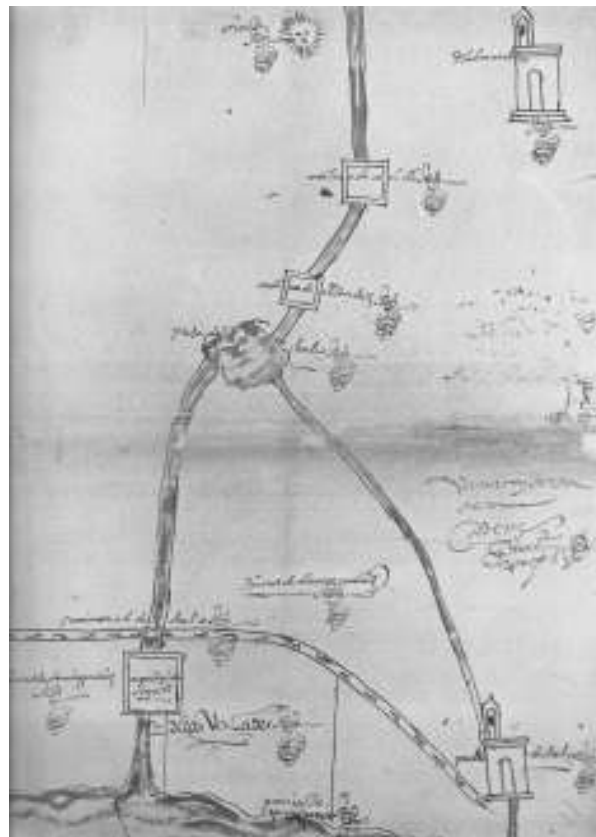


Figura 10. Plano de los molinos de Tlalmanalco y Chalco, 1610. Gisela von Wobeser, *La formación de la Hacienda en la época colonial...*, il. 24, México, UNAM, 1989, p. 164.

Algunas haciendas recibían el agua del herido y la almacenaban en sus propias presas o estanques. Después de su recorrido, las aguas eran regresadas a la fuente de la que procedían o se dirigían a poblados.

Distribución

Para que la cantidad de agua correspondiera a la merced dispuesta por las autoridades virreinales se establecieron las cajas repartidoras, mismas que se pusieron en presas, estanques, manantiales o en el trayecto de alguna acequia, herido o arroyo. Una caja de agua debía tener el número real y la medida fiel de las tomas, marcos, puertas o datas.

A: molino con dotación de 8 surcos. B: batán con dotación de 3 surcos. C: caballería de tierra con dotación de 2 surcos.

Un surco es igual a 48 d2.

A = 384 d2

B = 144 d2

C = 96 d2

Despejando el espesor:

$384/16 = 24$ dedos

$144/16 = 9$ dedos

$96/16 = 6$ dedos

$L \times L = 24 \times 16 = 384$ d2

$L \times L = 9 \times 16 = 144$ d2

$L \times L = 6 \times 16 = 96$ d2



Figura 11. Misma altura, diferente superficie; el agua entra en la misma proporción.

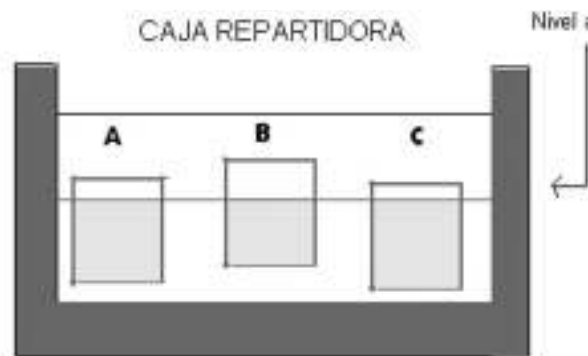


Figura 12. Distinta altura, misma superficie; el agua entra en diferente proporción.

Varias eran las cuestiones que los encargados de medir el agua debían observar en las tomas o datas, entre otras cuál era la figura más conveniente (si eran cuadradas debían cuidar la proporción de sus lados); también era importante su posición (si iban al centro o a un costado), y lugar (si estarían antes o después de la salida del agua). Si las datas eran circulares, sus centros debían estar en una misma línea horizontal; si no se cumplía con esta regla, resultaban afectadas y más aún cuando los diámetros eran distintos. Así se tendrá que dos datas de una misma caja, donde una mide el doble de la otra, no por ello la más grande toma el doble de agua que la menor; esto de nada servirá si están en diferentes alturas y distancias.

Si son tres datas que salen de una caja repartidora, deberán tener una misma altura de 16 dedos (d) (figuras 11 y 12).

Como puede comprobarse, esto sucede por causa de que cuando en la caja el nivel de agua descendía, las datas que estaban en nivel superior se sirven de menos que las que se encuentran abajo; de igual manera, las que se encontraran

más distantes de la llegada del agua tomarían menor cantidad que las cercanas. Por lo anterior, era más común el uso de los marcos de agua con formas rectangulares, y la práctica de las matemáticas y/o la geometría eran indispensables para calcular cuánto se debían ampliar o disminuir las bases.

Los ricos hacendados que se preocupaban por la arquitectura para la producción en función del agua, destinaban parte de sus presupuestos para los diseños de soluciones muy específicas como las cajas de agua (figura 13).

En el plano de la caja repartidora no se indica la merced de agua que le corresponde a cada hacienda, pero en el dibujo de la "Fachada exterior" se muestra la observación ilustrada anteriormente, comprobándose que las tomas debían tener la misma altura, aunque fueran de distinta área. En la explicación de la mencionada fachada el número 1 indica el lugar de la toma de la hacienda de San Miguel; el 2 el lugar de la toma de la hacienda de San Antonio; las dos tienen la misma altura, aunque la primera es más angosta que la segunda, indicándose que la dotación

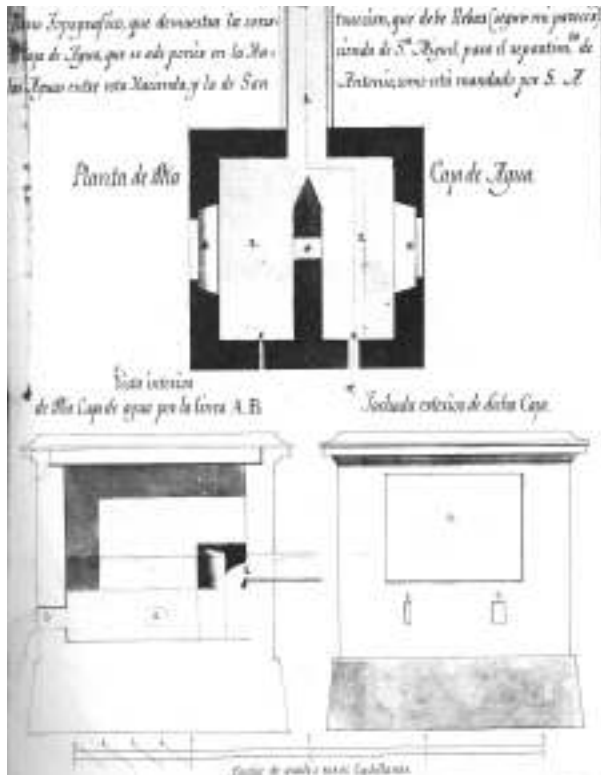


Figura 13. Plano de una caja de agua para las haciendas de San Miguel y San Antonio. Chalchicomula, Puebla, 1796. Gisela von Wobeser, *op. cit.*, il. 34, p. 184.

de agua era diferente. El número 3 ubica el lugar de una lápida en la que podía ponerse la cantidad de agua cedida a cada hacienda con el día, mes y año en que se haría la división.

En la parte superior del plano de la caja de agua se lee que el repartimiento de las aguas entre las dos haciendas se hacía como estaba mandado por “Su Alteza”; alude claramente que son mercedes otorgadas por disposición real. En el dibujo de la planta el número 1 señala el canal por donde entra el agua que proviene de un manantial; el 2 marca los receptores para cada finca; el 3, las paredes divisorias; el 4, el conducto para que se comuniquen el agua; el 5, los lugares de las tomas, y el 6 las ventanas para limpiar los depósitos.

Resulta interesante ver la escala gráfica que



Figura 14. Caja de agua del molino Las Tablas. Atlixco, Puebla. Fotografía de Yolanda D. Terán Trillo, 2005.

aparece a pie de plano; está dividida en cuatro varas castellanas; la primera, a su vez, se subdivide en cuartos, cuya proporción se obtuvo con trazos geométricos (figura 14).

Las cajas de agua se hacían de mampostería; algunas tenían compuertas que se colocaban para controlar la salida del agua, sobre todo en las que se recibía por tandas o cuando la paga de la servidumbre era por determinado tiempo. Otras datas se hicieron de cantera y ostentaban labrado el nombre de la hacienda o del molino, como en la del molino Las Tablas, donde el nombre aparece esculpido en bajorrelieve; por la erosión sufrida casi se ha perdido.²⁶

Las cajas de agua con la medición de datas también se utilizaron para distribuirla en surtidores o pilas colocadas en distintas calles de ciudades, villas y pueblos para uso comunitario, ya que durante el periodo virreinal pocas casas contaron con toma directa. Recientemente, en la Plaza de las Tres Culturas²⁷ se localizó una caja de agua

²⁶ Sobre la caja se le colocó una cubierta del mismo material para emplearla como mesa decorativa.

²⁷ Los trabajos de arqueología y restauración por parte del Instituto Nacional de Antropología e Historia, iniciados en 2005, continúan en proceso bajo la dirección del arqueólogo Salvador Guilliem.

La toma C recibe más agua que las tomas B y D porque al estar en medio el líquido entra derecho y capta más agua que las de las orillas.

El agua de las tomas B y D entra en menor cantidad porque pierde velocidad al golpear con el ángulo de las paredes que las desvían y también porque rozan, cada una, con la pared lateral de la acequia.

Otra causante es que las bocas de B y D son angostas en relación con la de A, por causa de la penetración de las paredes divisorias al canal.

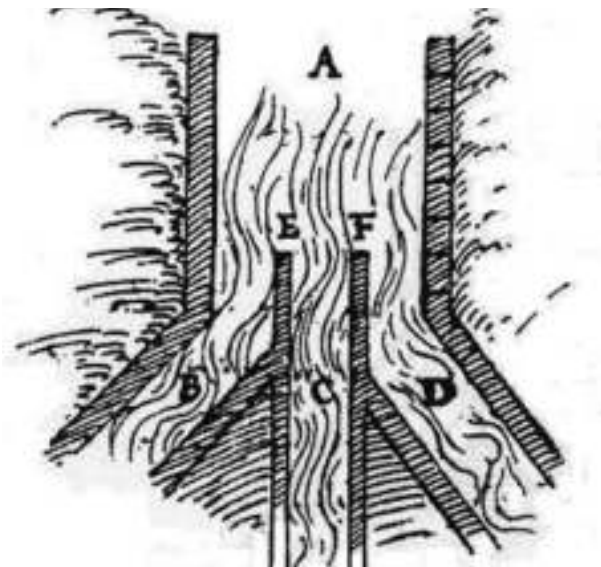


Figura 15. Pedro Juan de Lastanosa (seudo Juanelo Turriano), *Los veintiún libros de los ingenios y de las máquinas* (facs. del manuscrito del siglo XVI), fig. 477, Madrid, Biblioteca Nacional/Ministerio de Cultura/Fundación Juanelo Turriano, 1996, f. 465v.

que, por su ubicación, probablemente compartía agua con un molino de trigo que existió en Tlateolco y con el barrio del mismo nombre.

El reparto de agua también se practicaba en algunas acequias y en ellas, al igual que en las cajas repartidoras, se debía tener cuidado, aun cuando todas las tomas de una misma salida tuviesen la misma altura, ancho y estuvieran situadas en el mismo nivel y con igual pendiente, podían no llevar la misma cantidad de agua. En las acequias, aparte de las diferencias mencionadas en las cajas de agua —como el hecho de que una toma viniera más adelante que otra, o si estaban en la orilla o al centro— tuvieron un papel preponderante los ángulos de separación que quedaban entre data y

En la subdivisión B pasa un poco de más agua que en la E porque su boca está antes y recibe primero al agua.

La toma D recibe más agua que C porque al golpear el agua en F se desvía hacia D llevándole más agua. También la toma D recibe más agua que C porque llega más directa que en C.

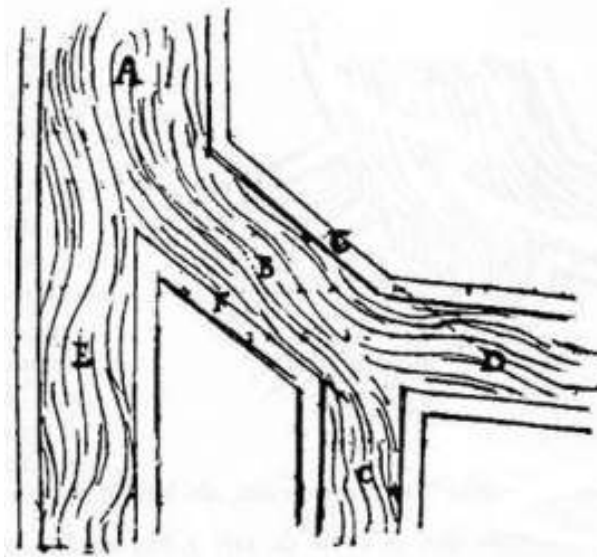


Figura 16. Pedro Juan de Lastanosa (seudo Juanelo Turriano), *op. cit.*, fig. 499, f. 470v.

data; la prolongación de las paredes divisorias; la dirección que llevaba, hacia arriba, al lado o abajo, y el ancho que tenía la boca para recibir el agua.

Pedro Juan de Lastanosa (seudo Juanelo Turriano)²⁸ hace mención que en el “partir” de las aguas se debería tener mucho cuidado, porque aunque la toma o data estuviera bien regulada por las cajas y el agua se hubiere dividido por partes iguales, se tomaba ventaja. Se ilustran algunas trampas o engaños planteados por Lastanosa en su manuscrito *Los veintiún libros de los ingenios y de las máquinas* (figuras 15-17).

La combinación de las causantes referidas son muestra de algunas de las tantas soluciones con que se podía faltar a la legalidad, aunque no

²⁸ Pedro Juan de Lastanosa (seudo Juanelo Turriano), *Los veintiún libros de los ingenios y de las máquinas* (facs. del manuscrito del siglo XVI), Madrid, Biblioteca Nacional/Ministerio de Cultura/Fundación Juanelo Turriano, 1996, p. 630.

La toma C recibe más agua porque está más derecha que las otras dos.

La toma D recibe más agua que B porque su boca está ligeramente más arriba que la de B y sale de forma lateral, mientras que la toma B recibe menos agua debido a que su dirección va en sentido opuesto a la de la acequia.

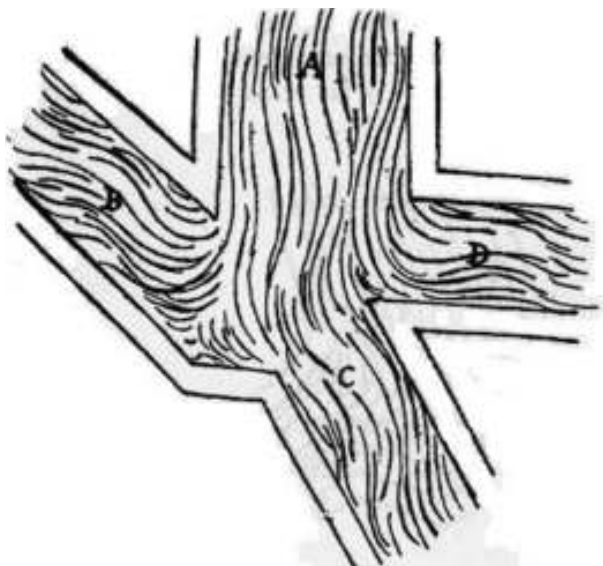


Figura 17. Pedro Juan de Lastanosa (seudo Juanelo Turriano), *op. cit.*, fig. 504, f. 472v.

siempre las ganancias fueran generosas; por otro lado, no era fácil contar con tanta ventaja o libertad en la colocación de las tomas, sobre todo cuando quienes intervenían tenían experiencia suficiente para no dejarse timar.

También se hacía alusión a que los medidores de agua que no eran expertos, con frecuencia cometían errores al creer que a perímetros iguales correspondían superficies iguales. Así, una data rectangular de $3\frac{3}{4}$ de vara y altura de $1\frac{1}{4}$ de vara tiene un perímetro de 10 varas, y una data cuadrada cuyos lados midan $2\frac{1}{2}$ varas cada uno, tendrá un perímetro igualmente de 10 varas como la data rectangular, pero si se obtienen las superficies, a la primera le corresponden $4\frac{11}{16}$ varas cuadradas, mientras que a la segunda $6\frac{1}{4}$ de varas cuadradas, de donde se comprueba la falta de conocimiento en el dominio del oficio.

Conducción

La función de las acequias, zanjás, atarjeas, canales y acueductos consistía en llevar el agua desde la fuente de origen —un almacenador, un conducto o caja repartidora— hasta los molinos, tierras por regar o donde se necesitaba. En su recorrido debían guardar una constante en la pendiente; su acertada inclinación evitaba que el caudal se precipitara o que fuera demasiado lento en su recorrido. Ambos factores incidían en el trabajo productivo.

Bien fuera de presas, estanques o de cajas repartidoras, el agua debía ser guiada por determinados conductores, siguiendo la ruta indicada por los especialistas en medir el agua.

Simultáneos a la construcción de los almacenadores de agua se iniciaban los trabajos topográficos. Algunas veces, cuando los conductores eran muy largos, podían cambiar de pendiente en su trayecto; esto se efectuaba sobre todo por la diferencia de alturas, pero sin la habilidad de los hidromensores para resolverlo, al perder la constante de la pendiente se generaban problemas.

Definidas las rutas que debía recorrer el agua, el hidromensor procedía a determinar qué tipo de conductores debían ser empleados, de qué medidas, con qué materiales y cómo debían hacerse. Los conductores de agua podían estar a nivel del piso o muy altos, y sus recorridos podían ser tan largos o cortos como fuera necesario; el espesor y profundidad de sus paredes estaban en función de la cantidad de agua que transportaran, la distancia que recorrieran y la topografía del trayecto.

Para cumplir con lo anterior, los hidromensores debían observar cómo estaba dispuesto el terreno para el paso del agua, “[...] si a de pasar por partes llanas, o por montes, lomas, laderas, vacíos y barrancas”,²⁹ con lo que podían definir qué tan-

²⁹ Joseph Sáenz de Escobar, *op. cit.*, f. 8v.

to se debía excavar, rellenar los suelos o preparar las laderas para conservar la pendiente. Esta valoración les ayudaba a decidir si convenía excavar zanjas a cielo abierto o si era necesario construir canales o acueductos.

Otro factor en el que también debían tener cuidado era en el conocimiento de la calidad de la tierra por donde iban a pasar los conductos:

[...] hay unas tierras muy porosas [...] y necesariamente han de embeber el agua, de suerte que aunque tenga la competente altura [...] no será posible que por mucha que salga en su origen llegue [...] Lo mismo, si aunque el terruño sea duro hace rajaduras por donde se iza el agua y no se conseguirá el fin [...].³⁰

Las excavadas en terrenos arcillosos debían ser compactadas perfectamente, con lo que se impediría la filtración del agua; pero en los tramos donde los suelos eran porosos la zanja se impermeabilizaba con una mezcla de arena de tezontle y cal, adicionada con baba de nopal.³¹ Este mismo procedimiento se empleaba para impermeabilizar canales, aljibes, acueductos, etcétera.

La traza para el paso de los conductores también tuvo limitantes; uno de ellos lo sugiere Plo y Camín en el siglo XVIII. El tratadista cita en su libro una antigua recomendación que dice: “[...] si el cauce o canal por donde va a correr el agua fuere muy largo, no puede ser línea recta”.³²

El teorema³³ anterior no se aplicaba en tramos cortos de entre 20 y 30 pies; por lo contrario, sólo procedía en zanjas y canales que rebasaban esa

medida, a los cuales de trecho en trecho se les hacían pequeños quiebres para que el agua corriera bien, con lo que se evitaba que tomara demasiada velocidad saliendo de su cauce. Los quiebres que se daban no debían ser en ángulos rectos, sino en ángulos obtusos que permitieran conservar, relativamente, la misma fuerza y el mismo nivel de agua; al mismo tiempo, la abertura de esos ángulos evitaba el golpe brusco del líquido, disminuyendo la constante erosión de sus paredes. En el mismo teorema se aclara que en caso de que por la naturaleza del terreno se tuviera que hacer ángulos rectos, se construirían cajas para que descansara el agua y con la pérdida de velocidad se evitaría la fractura de los conductores.

También cuando tenían suficiente longitud, en determinados tramos se les ponían rebosaderos o aliviaderos; éstos eran rebajes que se hacían en las paredes para evitar que se saliera el agua del cauce cuando venía con más presión de la normal; por lo general se practicaban en sitios donde se podía aprovechar para el riego.

Los conductores se hacían de mampostería, tabique, lajas o excavados en el suelo; a cielo abierto o cubiertos. En los tramos cerrados, de trecho en trecho debía tener respiraderos para que el aire pudiera regular la presión. También algunos conductores, aparte de las compuertas, tenían rejillas que funcionaban como retenes de la basura que caía en su interior y que, de no ser retirada, impedía el paso normal del agua. Cuando por la naturaleza del terreno los conductos debían librar más de dos varas en su altura,³⁴ se recurría a la puesta de arcos para aligerar la elevación. A los arcos se les daba la misma altura; era en el canal

³⁰ *Ibidem*, f. 7v.

³¹ Leonardo F. Icaza Lomelí, Diplomado Historia del Virreinato, Dirección de Estudios Históricos-INAH, diciembre de 2005. También indicó que los antiguos romanos emplearon con el mismo fin la cáscara de uva usada como aditivo en las mezclas impermeabilizantes.

³² Antonio Plo y Camín, *op. cit.*, Proporción XVIII, il. p. 534.

³³ Teorema es una afirmación que puede ser demostrada como verdadera dentro de un contexto lógico. Su uso es propio de las disciplinas matemáticas filosóficas.

³⁴ Esta recomendación podía estar refiriéndose a una unidad de medida antigua, el *estado*, que equivalía a 11 pies o tercias de vara, es decir 3 varas y 2 pies. Véase Leonardo Icaza Lomelí, “El geómetra, instrumento del patrón”, en *NORBA, Revista de Historia*, núm. 18, Madrid, Universidad de Extremadura, 2006, p. 72.



Figura 18. Acueducto de la hacienda minera de San Juan Bautista, siglo XIX, Taxco, Guerrero. Fotografía de Yolanda D. Terán Trillo, 2008.



Figura 19. Canal de la hacienda minera de San Juan Bautista, siglo XIX, Taxco, Guerrero. Fotografía de Yolanda D. Terán Trillo, 2008.

donde propiamente se registraba la pendiente y en el que se hacían los ajustes.

En la arquitectura para la producción los acueductos elevados fueron muy empleados, sobre todo cuando el abasto de agua se encontraba distante y las diferencias de alturas que debían librar eran considerables. Las haciendas cañeras y mineras fueron las que más recurrieron a ellos, porque en su mayoría quedaban lejos de las fuentes de abastecimiento.

El sistema constructivo con base en arcos eliminaba parte de los gruesos muros, dándole a la estructura solidez, esbeltez y belleza; al mismo tiempo permitía el ahorro de material, no así de la mano de obra, problema que finalmente no era importante porque en la Nueva España abundaba. La velocidad provocada por la fuerza motriz y por las soluciones de canales y acueductos fue también muy utilizada en los molinos. La altura que les daban provocaba caídas de agua que eran aprovechadas para el movimiento de las ruedas verticales y horizontales (figuras 18-19).

Respecto a las ruedas hidráulicas verticales surgieron los modelos gravitatorios y de canal en medio; se componían de álabes o de cangilones. En los gravitatorios, el agua al caer sobre las as-

pas o cajones causaba el movimiento; éstos fueron los que más se utilizaron en la Nueva España. En los segundos, el empuje del agua producía el meneo. Probablemente también hubo ruedas movidas por corriente y debieron estar ubicadas dentro de los ríos, como en España.

En el caso de las ruedas horizontales se diseñaron también diversos modelos. Los de cubo y los de rampa fueron los que más se construyeron. Se hicieron aprovechando los lugares donde había fuertes diferencias en el nivel de los suelos. La función primordial de los cubos y las rampas era acelerar la caída del agua y dar más vigor al golpe de ella en las aspas. Los cubos y la rampa se constituyeron en una de las piezas clave del hidromensor y del molinero; mientras más altura tenían, mayor era la fuerza que producía la salida del agua para el movimiento de las ruedas horizontales, factor que incrementaba la producción.

Conclusiones

Cuando se estudia la arquitectura para la producción, edificada durante los siglos de dominación española, no se puede omitir la importancia que la hidromensura, como oficio, tuvo en ella.

Durante los primeros años de la fundación de la Nueva España, no en todos los documentos escritos donde se acreditaban las mercedes de tierra o agua otorgadas a capitanes, órdenes religiosas y otros personajes importantes de la Corona y el nuevo gobierno se precisó la posesión del agua ni la medida o dotaciones que de ella se disponía. Esto se dio en gran parte por la necesidad de que las nuevas tierras fueran pobladas, por los privilegios de que algunos gozaron y porque se contaba con pocos funcionarios y personal especializado; por otro lado, las autoridades, junto con la legislación, estaban en proceso de consolidación.

Esto pudo constatarse mediante documentos consultados en archivos. Todavía a principios del siglo XVII, en algunos de ellos sólo se menciona que se concede determinada toma dispuesta en cierto lugar, pero no se registra cuántos surcos o naranjas se concedían al solicitante o beneficiario.

Un papel importante tuvieron los hidromensores, estudiosos de todo lo que al agua se refería, maestros que por la experiencia adquirían la capacidad para saber encontrar agua, y la autoridad para decidir con acierto cuáles eran los mejores lugares para abastecerse de ella, qué parte del terreno o inclinación de éste era la más adecuada para conducirla, y cómo hacerlo librando de la mejor manera los obstáculos. Al mismo tiempo podían predecir las dificultades que se presentarían cuando neófitos en la materia pretendían incurrir en dichas prácticas.

Dominaban varias ciencias, principalmente la aritmética y la geometría; con el manejo de estas dos disciplinas lograron regular y controlar lo que en el siglo XIX se conocería como la velocidad del agua, y que para calcularla se idearon complejas fórmulas.

También vinculado con su habilidad e ingenio

estuvo el valor circunstancial de las medidas, pues debieron adaptarse a la irregularidad que de ellas había; dado que en no pocos lugares cambiaban de una región a otra. Un ejemplo son las mediciones que se hacían con pasos geométricos, cuando en otros sitios se medía con pies y palmos, o el uso de cordeles de diferentes materiales que a veces no quedaban suficientemente tensos, por lo se veían obligados a ajustar sus fórmulas y cálculos en cada lugar donde fueran requeridos sus servicios.

La arquitectura para la producción siempre se vio favorecida; los ricos dueños de haciendas y molinos productores de satisfactores contaron con la desmedida preferencia para la posesión y uso del líquido; y de acuerdo con su solvencia económica y buenas relaciones políticas lograron levantar obras hidráulicas de gran envergadura gracias a la dirección y trabajo de hidromensores y constructores.

Lamentablemente quedan pocos vestigios de aquellos sistemas hidráulicos; mucho se debió a que requirieron de mantenimiento constante: el agua que corre causa erosión en las paredes, y si está en reposo produce la acumulación de sedimentos; si lleva mucha fuerza origina rupturas; igualmente lo afecta la basura que obstruye su paso. Pero tal vez el factor que más contribuyó a la pérdida de los sistemas hidráulicos novohispanos fue la escasez y falta de agua; la ausencia del líquido, al dejar de usarlos, provocó el envejecimiento y fractura de las estructuras, volviéndolas —con el tiempo— ruinas inservibles y obsoletas.

La aportación de los maestros fontaneros, fronteros o hidromensores en tratados y manuales, y los ejemplos que sobreviven de las instalaciones que diseñaron, permiten valorar un legado de gran importancia dentro de la arquitectura para la producción.