

Capitulo. vij. De como deuen señalar en el  
semeñante los quarts del hquador del dia.

**E**sto quiermo fazer: arma el religio assi  
como se moñe en el caplo q es ante deste. Et  
famos una linea en la una faga dela tabla  
del semeñate con la cuesta del arco del orizon: et alli  
famos la signa: en la segunda faga dela tabla del se  
meñate es la cuesta del arco del orizon: et alli  
famos una linea con las lineas de rodados. famos del  
semeñate del soun. Et despues assenir faga  
una linea del sol: o faga q se puga: et lo menor es q sea

el comienzo de los fagos: quando el sol es en el  
q se faga de dia: et otros mmas lo q se faga. Et  
assi abre la boca del orizonte del orizonte del agua: et  
assi oren el fago q es en el fagon de la tabla  
una: et corre en el agua de la tabla alla q sea: et  
en la tabla al embudo q sea de la tabla del orizonte  
q esta en el fago de la tabla: et corre en la tabla  
de la tabla de la tabla: et corre en la tabla  
de la tabla de la tabla: et corre en la tabla  
de la tabla de la tabla: et corre en la tabla  
de la tabla de la tabla: et corre en la tabla  
de la tabla de la tabla: et corre en la tabla  
de la tabla de la tabla: et corre en la tabla

(Religio dell'acqua. Libros del saber de astrología. Mss. Universidad Complutense)

## Las clepsidras

Ángel Requena Fraile

El agua es un recurso imprescindible y su almacenamiento, control y distribución van unidos a la civilización. Las obras hidráulicas para irrigación y la construcción de presas o de aljibes van asociadas a la agricultura sedentaria. Los recipientes de barro o metal fueron utensilios cotidianos de uso general.

El control de tiempo ha sido fundamentalmente astronómico. El ciclo solar es lo suficientemente estable para definir “el día” como unidad de tiempo. El ciclo lunar servirá para establecer una unidad mayor en un calendario. La variación de la sombra a lo largo del día permite fraccionar el día en horas. Las estrellas pueden ser útiles durante la noche pero es más complicado por su desplazamiento.

Las clepsidras, los relojes de agua, ya funcionaban en el Egipto Faraónico hace más de cuatro mil quinientos años. Un recipiente barro con un pequeño orificio en el fondo sirve para definir una fracción de tiempo o controlarlo. Varios museos exponen estos sencillos instrumentos como el *Museo Alemán de la Ciencia y la Técnica* en Munich.



(Clepsidras egipcias. *Museo Alemán de la Ciencia y la Técnica*. Munich)

La presencia cotidiana de la matemática en la vida material se pone de manifiesto en el contar y medir. La propia Biblia con su *todo tiene número, peso*

*y medida* expresa esa constante necesidad. La medición del tiempo es de las más elusivas.

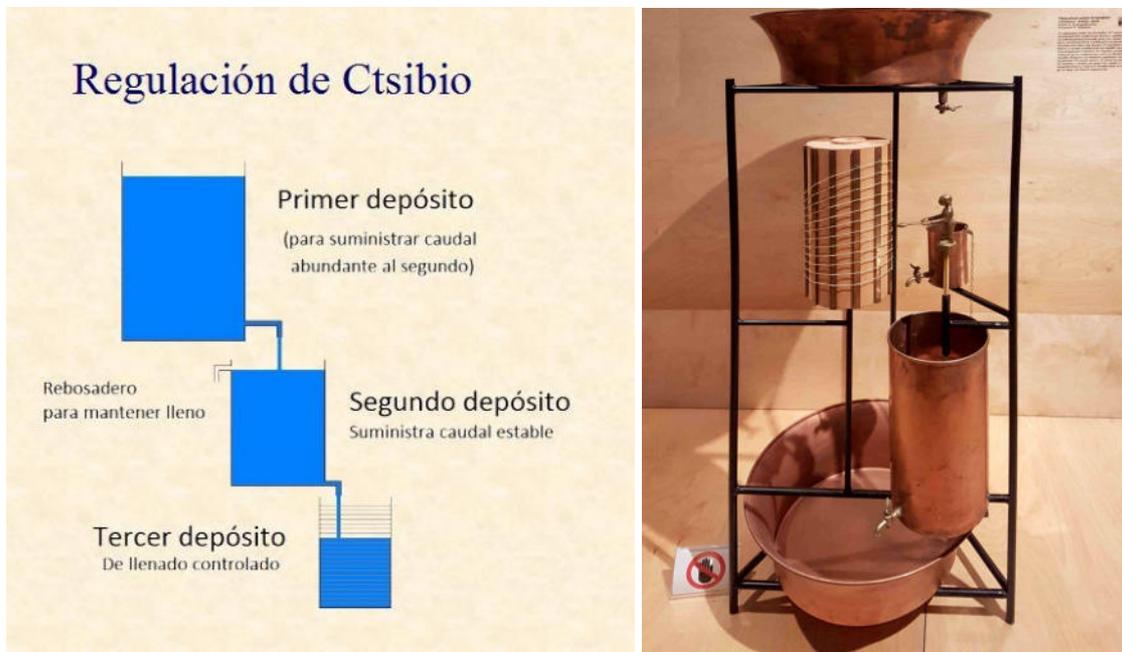
Un recipiente cilíndrico con un agujero tiene un caudal decreciente, no es regular. El flujo de salida por el orificio en las condiciones del principio Bernouilli - fluido no viscoso y régimen laminar - es proporcional a la raíz cuadrada de la altura - nivel del agua. Si se desea que la disminución de altura sea estable el radio debe disminuirse en proporción a la raíz cuarta de la altura del líquido. Si se quieren tener fracciones las marcas en estos depósitos deben tener en cuenta esas variaciones del caudal. La forma cóncava de los cuencos - estrechándose hacia abajo- es bueno para el torno y para regular la disminución de nivel.

Griegos y romanos usan las sencillas clepsidras de salida de agua para regular tiempos en la vida pública: oratoria en asambleas o en juicios. El *Museo del Ágora* de Atenas conserva ejemplares del depósito que regulaba la duración de las intervenciones -unos seis minutos- en una democracia directa que permitía a todo ciudadano hablar. La última gota marcaba el final de la locución.



(Clepsidra democrática. *Museo del Ágora*. Atenas)

Según Vitruvio fue Ctesibio (285-222 a.C.) al que se debe un sencillo sistema de regulación del flujo: requiere tres depósitos (o dos y una fuente abundante de suministro de agua). Como el caudal depende de la altura lo que hay que hacer es mantener la altura estable abasteciendo el depósito intermedio con más agua entrante que saliente. En el tercer depósito la entrada de agua es estable.



(Regulación de Ctesibio. Reproducción. *Museo Tecnológico*. Salónica)

El flujo homogéneo de llenado regular de un depósito cilíndrico u ortoédrico permite que una figura flotante marque las horas con una varilla. Una reproducción parcial del conjunto se puede ver en una reproducción moderna en el *Museo Tecnológico* de Salónica.

El sistema regulado de Ctesibio abrió camino a otros más complejos. Al punto de hacer clepsidras astronómicas, *anamórficas* las llamó Vitruvio. El problema de estos dispositivos es su fragilidad y por ello solo disponemos de referencias pictóricas o literarias. Un caso significativo es el *Horologión* del Ágora Romana de Atenas.

En el humilde Ágora romano de Atenas, a los pies de la Acrópolis, destaca orgullosa una notable edificación científica: la hoy llamada *Torre de los Vientos* y que en su momento fue un reloj solar, una clepsidra y una veleta.

El astrónomo Andrónico de Cirro diseñó en el siglo I a.C., ya bajo dominio romano, una torre octogonal que señalaba doblemente el tiempo como reloj de agua y solar. Las caras del sur, sureste, este, sudoeste y oeste marcaban las horas con la ayuda de un gnomón. Las muescas sobre la piedra todavía se aprecian.



(Horologión. *Ágora Romana*. Atenas)

Marco Vitruvio (80-15 a.C.) muestra en su *De architectura* lo avanzado del arte de construcción de relojes tanto solares como hidráulicos y poco más tarde Herón de Alejandría (10- 70 d.C.) en el Egipto Helenístico marcará un camino que desarrollarán los árabes. Vapor, aire, cadenas, cuerdas, engranajes, poleas se combinarán en los dispositivos movidos por agua para no limitarse a dar las horas: se construirán relojes astronómicos, con autómatas y con iluminación nocturna. Neumática, mecánica, hidráulica, termodinámica y astronomía colaboran al servicio del espectáculo.

Un flujo constante no basta. Las horas romanas son desiguales. De la salida a la puesta del Sol se hacen doce horas –independientes de la estación del año- y otras doce son las nocturnas. En una ciudad como Fráncfort del Meno (50° de latitud) las diferencias son sustanciales: en nuestro computo la insolación será de 16 horas en el solsticio de verano y de 8 en el de invierno. Para los romanos una hora de primero duraba el doble de la hora del segundo. La solución para la medición estaba en las escalas: se marca distinto según el transcurrir de los meses del año.

Una significativa clepsidra - cuenco de unos 50 centímetros de diámetro máximo- conservado (almacenado) en el *Museo Arqueológico* de Fráncfort muestra los meses y los días en el borde, y en el interior se han punteado las horas.



(Clepsidra romana de horas desiguales. Museo Arqueológico. Fránfort del Meno)

Los árabes recogen la tradición de las clepsidras. De las más sofisticadas nos ha quedado el rastro literario. Es el caso del reloj hidráulico anafórico *Al-Maqata-Maqata* del rondeño Abu l-Qāsim Abbās ibn Firnas (810-887), el considerado padre de la aviación.



La clepsidra más famosa de al-Andalus está descrita por el geógrafo granadino Muh.ammad ibn Abi- Bakr al-Zuhri (m.1137), y se la atribuyo a Azarquiel:

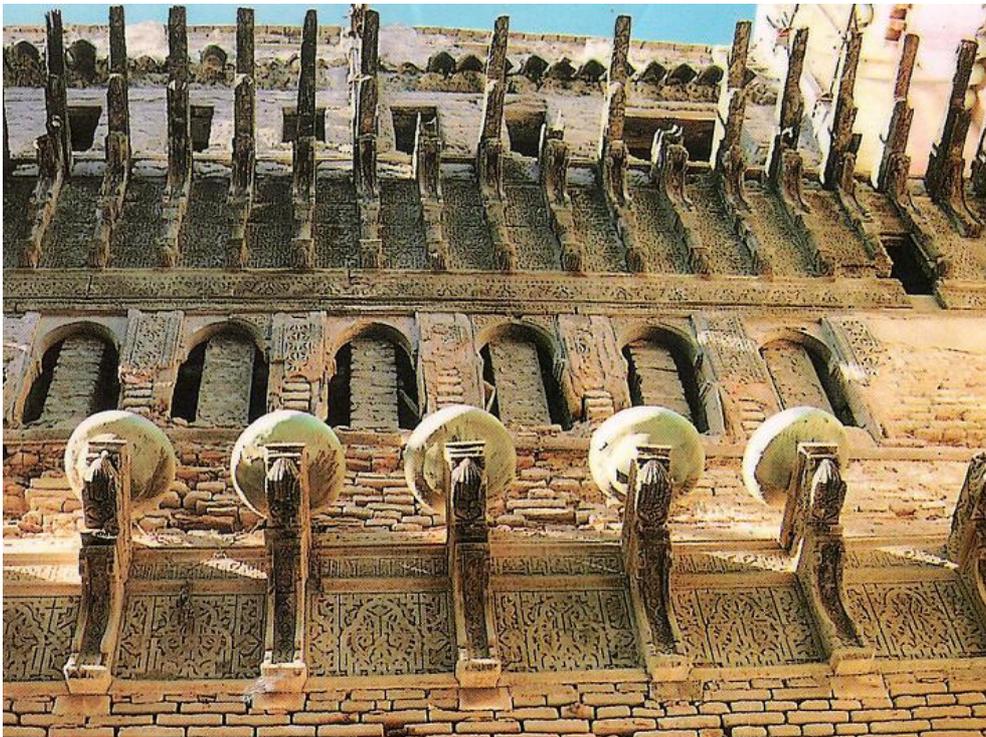
*Lo que hay de maravilloso y sorprendente en Toledo, tanto que no creemos que haya en todo el mundo habitado ciudad alguna que se le iguale en esto, son dos recipientes de agua que fabricó el famoso astrónomo Abú-l-Qasim ibn Abd al-Rahman, el conocido con el nombre de al-Zarquel.*

*Cuentan que este al-Zarquel, (...) determinó fabricar un ingenio o artificio, por medio del cual supieran las gentes qué hora del día o de la noche era, y pudieran **calcular el día de la luna**. Al efecto hizo dos grandes estanques en una casa de las afueras de Toledo, a orillas del Tajo, no lejos del sitio llamado La puerta de los Curtidores, haciendo de suerte que se llenasen de agua o se vaciasen del todo, según el creciente y menguante de la luna.*

El mismo al-Zuhri cuenta como la clepsidra toledana fue destruida por un astrónomo judío llamado Hamis ben Zabara que no supo recomponer lo que había desmontado. El calendario árabe es lunar.

Los *Libros del saber de astrología* (1270) de Rabiçag, ordenados por Alfonso X de Castilla recuperan la ciencia árabe andalusí y muestran cómo construir el *relojo dell agua*, una clepsidra astronómica que incluye hasta horas iguales y desiguales.

Quizá la clepsidra más espectacular cuyos restos podemos admirar es la *Mangana* en Fez.



(La mangana. Fez)

Al inicio de la calle Talaa Kabira y enfrente de la Bou Inania –la mayor madraza de Fez- nos encontramos con la *Mangana*, la espectacular clepsidra del maestro Tlemsani (1357).

Un bellísimo mecanismo hidráulico con 12 campanas nos muestra como el esplendor de la ciudad iba unido a la capacidad técnica de sus artesanos: poder militar, economía, literatura y ciencia se dan la mano. Una bolita salía de las ventanitas para dar la hora al chocar en los platillos. En cada una de las ventanitas había una figura y de noche se iban iluminando. Del mecanismo interior no queda nada.

La foto que mostramos es antigua, realizada antes de la restauración. El carillón no ha sido colocado todavía, o quizá no quieren devolver todo su esplendor a esta joya. Se construyeron otras dos clepsidras similares, otra en Fez y otra en Tremecén, sin rastro.

El gran constructor de clepsidras sofisticadas en Oriente Medio es Abū al-'Iz Ibn Ismā'il ibn al-Razāz al-Jazarī (1136-1206) que en su *El libro del conocimiento de dispositivos mecánicos ingeniosos* describe 100 modelos hidro-mecánicos (incluidos 80 tipos diversos de ingeniosas naves) con instrucciones sobre cómo construirlos. Maravillas de autómatas móviles con elefantes, pájaros, y amanuenses son la culminación del arte.



(Al-Jazarī. *El libro del conocimiento de dispositivos mecánicos ingeniosos*)

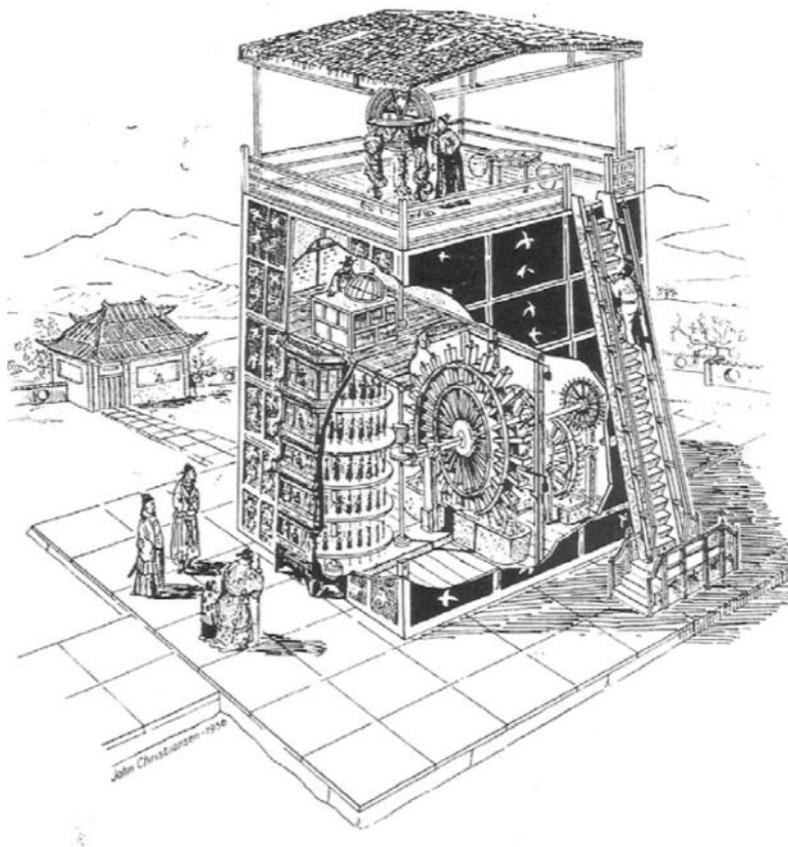
La clepsidra acompaña también una de las más deliciosas leyendas matemáticas, la motivación para la redacción de *Lilavati* (siglo XII), el tratado en sánscrito de matemática en verso de Bhaskara II o Bhaskaracharya, el maestro. Se trata de un añadido a la edición persa de la obra:

*El horóscopo de la hija recién nacida del maestro Bhaskará predijo que la bella niña no llegaría a disfrutar de las delicias de una boda. Cuando Lilavati creció en modestia, inteligencia y belleza se determinó su compromiso matrimonial.*

*En el día que estaba fijada la celebración, Lilavati impaciente, jugaba con su vestido en el borde de la clepsidra que iba a marcar tan esperado momento. A punto de vaciarse el estanque una perla se desprendió. El orificio quedó obstruido y la hora propicia nunca llegó. Lilavati nunca se casó.*

*El padre de la desafortunada niña para su consuelo y felicidad un libro escribió que Lilavati se llamó.*

Clepsidras espectaculares con sofisticados mecanismos encontramos también en China como el *Reloj de Su Sung* (1090) en K'ai-fêng que ha sido reproducido.



(Reloj de Su Sung. K'ai-fêng - Honan)

En nuestros días se han construido algunas clepsidras para ilustrar museos temáticos como el que muestra Saint-Jean-du-Bruel en un antiguo Molino. Se trata de un reloj de vidrio con líquido teñido de azul. Las bolas marcan las horas y el serpentín los minutos. En el moderno Museo de las Ciencias de Ámsterdam encontraremos una similar.



(Clepsidra Moderna. Museo del Agua. Saint-Jean-du-Bruel)

Las tradiciones populares han permitido que subsistan en el medio rural unas curiosas clepsidras con valor etnográfico que se extienden desde Marruecos a Irán. Un cuenco de barro agujereado se hace flotar sobre uno más grande lleno de agua. El tiempo de llenado marca el transcurrir del tiempo. Mostramos uno marroquí.



(Clepsidra popular marroquí)