EL LIBRO DE LOS RELOJES DE ALFOSO X EL SABIO

Eduard Farré Olivé

Dentro de la monumental obra científica compilada en la corte toledana del rey Alfonso X el Sabio, que fue publicada con el nombre de Libros del Saber de Astronomía (1276), hay cinco libros dedicados a la construcción y uso de relojes; por la originalidad de su concepción podemos considerar que, en su momento, se trató de elementos de alta tecnología.

De estos cinco relojes hay dos de sol, los llamados Relogio de la Piedra de la Sombra y el Relogio del Palacio de las Oras; un reloj de combustión denominado Relogio de la Candela, una clepsidra o Relogio dell Agua y el Relogio dell Argent Vivo o reloj cuyo funcionamiento, basado en el principio de las clepsidras, utilizaba mercurio en vez de agua.

(fig.1)
Página original de los Libros del Saber de Astronomía correspondiente a la construcción del Relogio de la Piedra de la Sombra

Detalle del cuadro mòvil en el que se representan las horas del día y las constelaciones del firmamento

EL MANUSCRITO

La redacción de los libros de los relojes fue encargada a Samuel el Leví de Toledo a quien Alfonso X llama nuestro judío, y que es el autor del Libro del Relogio de la Candela; los otros cuatro libros de relojes fueron obra de Rabiçag o Isaac ibn Sid, también de Toledo, que también fue autor de muchos otros libros en la misma colección alfonsina, versados en otros instrumentos astronómicos.

Sus fuentes de inspiración pudieron proceder de científicos del oriente islámico, pero también encontramos a Rabiçag relacionado con la copia de un tratado de relojes del cordobés al-Muradi (s. XI), así que los conocimientos reflejados en los *Libros del Saber de Astronomía* dimanaron en gran parte del propio Al-Andalus y de la inventiva de los mismos compiladores que no fueron meros copistas sino verdaderos creadores de instrumentos astronómicos.
En diversos puntos de los libros de los relojes se da a entender que las máquinas que se describen están basadas en principios tecnológicos de origen griego, concretamente se menciona a "Irán el Filósofo" quién ha sido identificado con Herón de Alejandría. Es sabido que toda la obra de Herón que se ha conservado nos llegó a través de las traducciones de los árabes; así mismo debemos considerar la gran tradición árabe en la construcción de relojes para esbozar una posible línea de transmisión entre el saber griego y la obra de Alfonso X.

Sin entrar mucho en detalles, mencionaremos los principales manuscritos que esbozan dicha línea: la *Mecánica* de Herón solamente se conservó en la traducción árabe que Qusta ibn Luqa realizó en el siglo VIII; otra obra griega importante para la tecnología de los relojes, que circuló ampliamente por el mundo árabe, fue la *Pneumática* de Filón de Bizancio; ambos libros contienen los principios tecnológicos en los que se pudieron basar las primeras máquinas.

De finales del siglo VIII data el llamado *Libro de Arquímedes sobre la construcción de Relojes de Agua*, cuyo desconocido autor árabe a quién se ha convenido en llamar el "Pseudoarquímedes", debió utilizar recursos tecnológicos de Herón y de Filón para diseñar su complicada clepsidra.

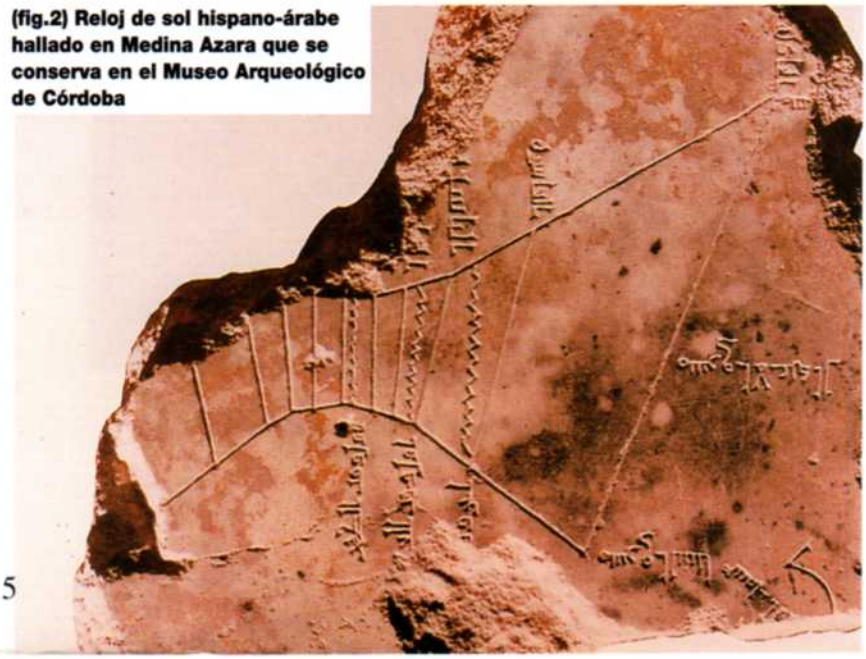
En el *Libro de la Mecánica* redactado en el siglo IX por los hermanos Banú Musá aparecen recursos neumáticos para la circulación de líquidos, de origen claramente griego y que aparecen utilizados en los libros alfonsíes, especialmente en el libro del reloj de agua.

A finales del siglo X, al-Juwarizmi escribió *Las Llaves de las Ciencias* que contiene un extenso vocabulario de términos científicos entre los que abundan los relativos a los relojes de agua.

El libro que más nos afecta con relación a la obra alfonsí es el tratado de al-Muradi (s. XI) *Libro de los Secretos sobre los Resultados de los Pensamientos*, en cuyo texto aparecen descritos unos treinta relojes de agua y mercurio con autómatas y un tratado sobre relojes de sol; el original se perdió, pero nos ha llegado una copia del mismo realizada en el siglo XIII por el propio Rabiçag en la corte del rey Alfonso, con lo cual nos hallamos ante una de las fuentes árabes probadas en las que pudo estudiar el autor de los libros alfonsíes antes de emprender la redacción de los mismos en castellano.

EL RELOGIO DE LA PIEDRA DE LA SOMBRA

El Relogio de la Piedra de la Sombra (fig. 1) es un reloj de sol horizontal trazado sobre un bloque pétreo en el cual se ha clavado un pequeño gnomon vertical, alrededor del cual han de estar esculpidas las líneas rectas de las horas temporales, las líneas hiper-



(fig.2) Reloj de sol hispano-árabe hallado en Medina Azara que se conserva en el Museo Arqueológico de Córdoba

bólicas del calendario zodiacal y otras líneas circulares y rectas para conocer la altura y la dirección del sol respectivamente.

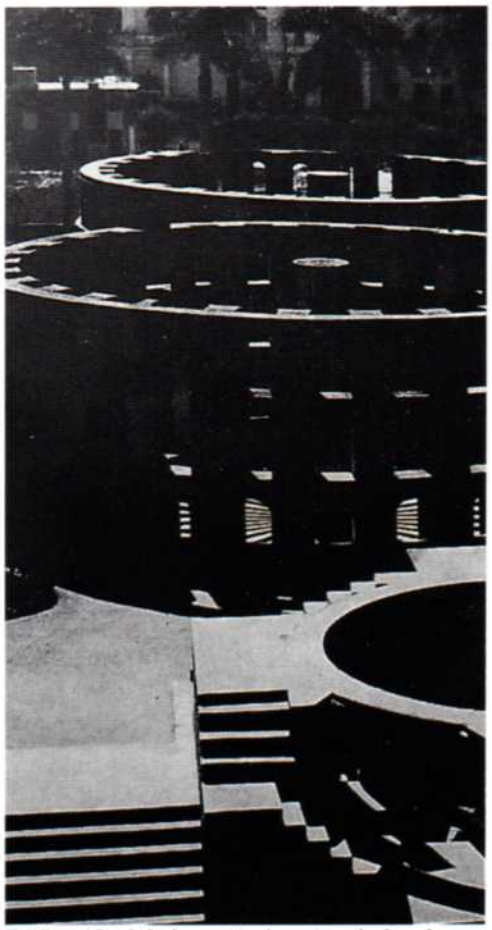
La estructura de dicho reloj se remonta al *Discus in Plano* de Aristarco de Samos; varios tratados árabes (al-Saffar) y judíos (Maimónides) describen la manera de construirlo e incluso se han conservado fragmentos muy completos de ocho relojes de sol (s. IX-XI) del mismo tipo procedentes de Al-Andalus (fig. 2).

De todos modos, en el prólogo del libro, el rey Alfonso se muestra insatisfecho de los tratados conocidos hasta entonces y manda a Rabiçag que escriba uno que supere a los anteriores:

"Porque non fallamos en fecho de la piedra de la sombra libro que fuesse complido por sí de guissa que non oviesse menester en su obra otro libro por ende nos Rey D. Alfonso el sobredicho toviemos por bien et mandamos al dicho Rabiçag que fiziesse este libro bien complido de manera que el que quisier facer la piedra non haya trabaio de catar en otro sinon en este".

Como en todos los tratados medievales, éste se divide en dos grandes secciones: la primera que versa sobre la construcción del reloj y que consta de 14 capítulos y la segunda de 4 capítulos que es un manual de utilización.

El proceso constructivo involucra cálculos astronómicos y trigonométricos y en el modo de uso se enseña a leer lahora, a interpretar los datos del calendario y a conocer la altura y la dirección del sol en cada momento del día.



Edificación del observatorio astronómico de Jaipur (India, s. XVIII) construido según la descripción del palacio de las horas

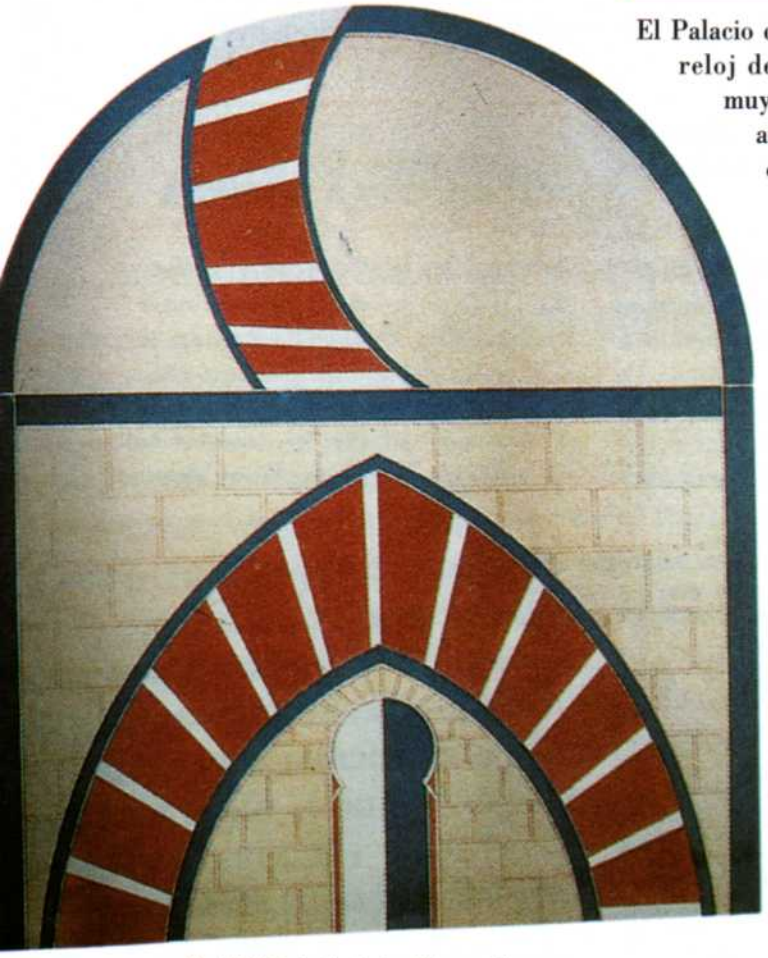
EL PALACIO DE LAS ORAS

El Palacio de las Oras (fig. 3) es un reloj de sol de características muy distintas al anterior; veamos como nos lo describe el propio rey Alfonso: *"Agora queremos mostrar de cuemo se deve facer el Palacio de las Oras en que ha de aver .XII. finestras pora les .XII. oras del dia, a cada ora una finestra, et que entre el sol en cada finestra en su ora mesma et non en otra, et mandamos al sobredicho Rabiçag que fiziesse este libro en que muestre cuemo se deve facer este Palacio."*

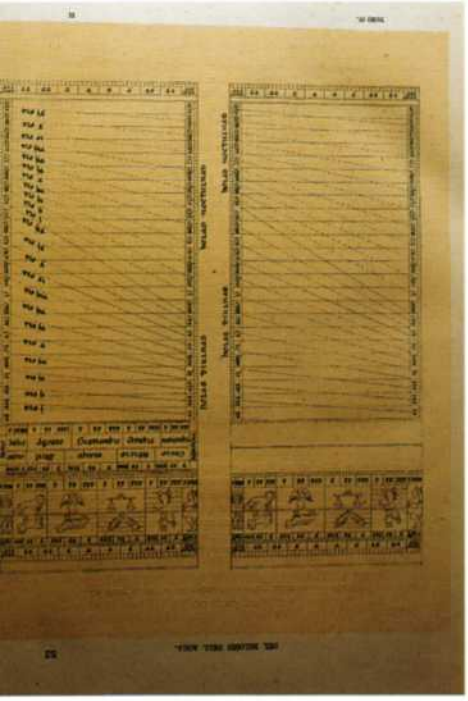
Así pues estamos en presencia de un edificio que debe tener 12 aberturas o ventanas, situadas de tal modo que a primera hora de la mañana permita el paso del sol por la primera ventana y por ninguna más; a segunda hora, el sol no ha de entrar ya por aquella sino solamente por la segunda ventana y así sucesivamente para todas las horas del día y para todos los días del año.

Dos variantes se explican en el libro alfonsí: una en que las ventanas están situadas en la pared circular vertical del edificio y otra en la cual las aberturas se practican en la cúpula hemisférica del palacio de las horas; en el dibujo que acompaña el texto coexisten ambas posibilidades.

Existe en Jaipur (India) un complejo astronómico del siglo XVIII, uno de cuyos edificios tiene una estructura que recuerda muy de cerca la descripción del palacio de las horas.



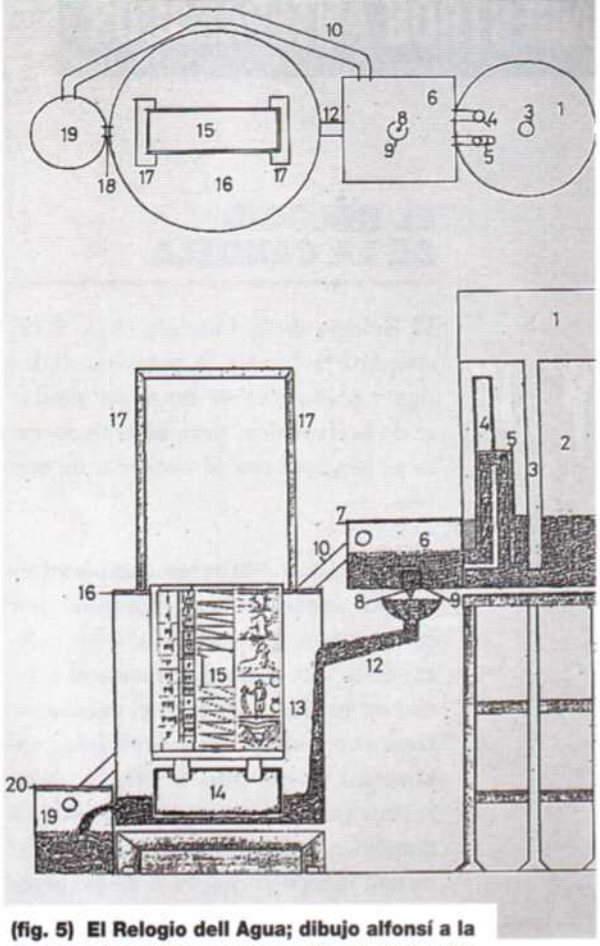
(fig.3) El Palacio de las Horas tal como aparece en el manuscrito alfonsí



(fig. 8) Detalle del reverso del cuadro en el que aparecen las distintas duraciones del dia y de la noche a lo largo del año

Una vez lleno el depósito mayor (2) a través del embudo (1,3), éste va cediendo el agua al menor a través de un sifón (5) al depósito menor (6) pero cuando el nivel de dicho depósito menor ha llegado a una cierta altura, el agua cubre la entrada de aire (4), con lo cual el sifón interrumpe su aporte; al descender un poco el nivel en el pequeño depósito se descubre de nuevo el tubo del aire y el sifón puede aportar el agua consumida, siguiéndose este ciclo durante todo el día y la noche.

El resto del reloj lo forman los clásicos elementos de muchas clepsidras anteriores: el agua del depósito pequeño (6) es filtrada por una redecilla (9) y gotea regularmente a través del agujero calibrado (8) hacia el embudo (12) que canaliza el agua hacia el recipiente (13) en el interior del cual hay un flotador (14) con un cuadro acoplado en el que se representan las horas del día y las constelaciones del firmamento.



(fig. 5) El Relogio dell Agua; dibujo alfonsí a la que se ha añadido la numeración identificativa y una vista superior inexistente en el original

EL RELOGIO DELL AGUA

El libro del Relogio dell Agua (figs. 5-8) describe una clepsidra de concepción muy avanzada. La larga evolución del reloj de agua abarca desde el Egipto del siglo XIV a. de C. hasta el siglo XIII en el que sería substituida por el reloj mecánico. Así que la clepsidra alfonsí se sitúa al final de la vigencia de las clepsidras y, por tanto, se trata de un instrumento muy complejo tanto desde el punto de vista tecnológico como constructivo.

La máxima originalidad de esta clepsidra reside en un gran depósito de agua cerrado herméticamente que alimenta un pequeño depósito que tiene el agujero de goteo en el fondo y cuyo nivel se ha de mantener constante para que el goteo sea regular y utilizable para la medida del tiempo.

Reconstrucción fiel de la clepsidra alfonsí

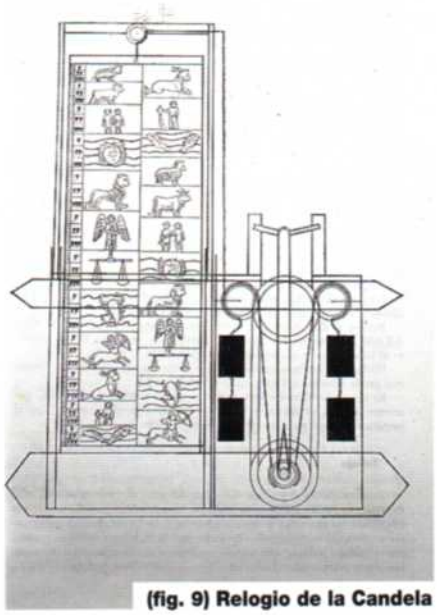
Al ascender el agua del recipiente, también asciende el flotador y el cuadro de las horas se hace visible al salir al exterior a través de una ranura hecha en la tapa (16) del recipiente cuyo nombre, círculo del horizonte, da la idea de que los signos zodiacales que están apareciendo por la ranura representan los que en el mismo momento están apareciendo en el cielo por el horizonte de levante, lo cual se indica en el reloj al mismo tiempo que la hora del día y de la noche.

Hay un marco (17) vacío en el cual se va introduciendo el cuadro (15) durante su ascenso y un depósito (19) para recoger el agua que se ha de vaciar diariamente del recipiente (13) y la que puede bajar por el tubo de seguridad (10); además los depósitos (6 y 19) están cubiertos con las tapas (7 y 20) para preservar la limpieza del agua.

EL RELOGIO DE LA CANDELA

El Relogio de la Candela (figs. 9-12) muestra la hora y la posición de los signos zodiacales de un modo similar al de la clepsidra, pero aquí su ascenso se produce por el consumo de una vela.

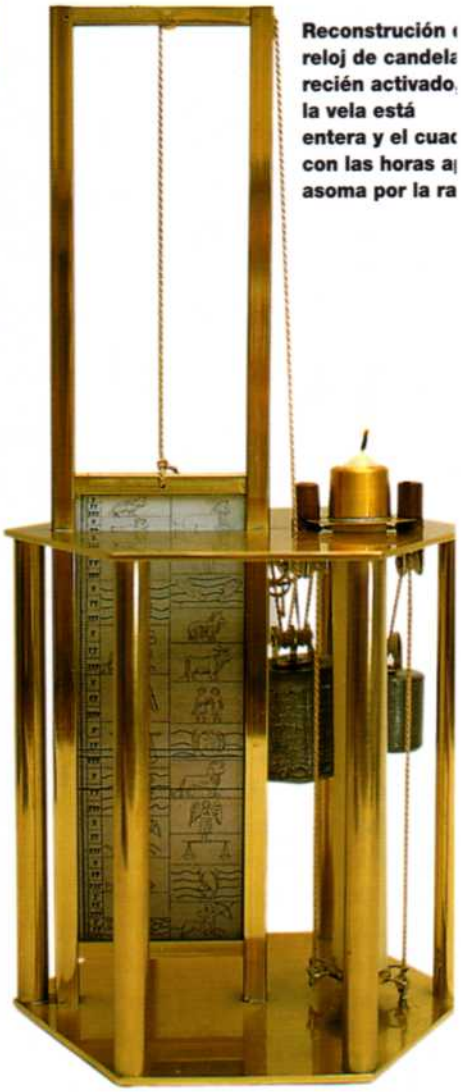
La vela está sujeta sobre una plataforma que puede ascender impulsada por cuatro pesos que cuelgan de dos poleas; de la vela solamente asoma al exterior su pabilo, quedando el cuerpo ceroso sujeto bajo una arandela; así mientras se consume la vela la plataforma impulsada por los pesos, la mantiene adherida a la arandela; al mismo tiempo el descenso de los pesos tira hacia arriba del ascensor de la vela y del cuadro con los signos horarios y astronómicos, saliendo éstos a la vista a medida que transcurre el tiempo.



(fig. 9) Relogio de la Candela

El reloj de candela en la mitad de su ciclo; queda la mitad de la vela y ha aparecido la mitad del indicador horario

(fig. 12) El reloj de candela al final de su ciclo; la vela está casi agotada y el indicador horario ha salido casi completamente del interior de la caja



Reconstrución
reloj de candela
recién activado,
la vela está
entera y el cuad
con las horas a
asoma por la ra

(fig. 20) Detalle del astrolabio y del engranaje

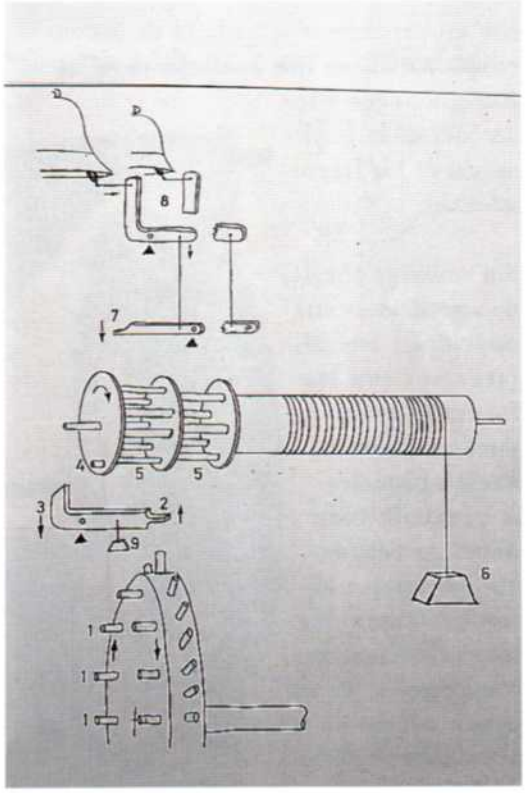
EL RELOGIO DELL ARGENT VIVO

El Relogio dell Argent Vivo (figs. 13-20) es una especie de clepsidra de circuito cerrado o rotación en la cual el agua se ha substituido por otro líquido mucho más denso: el mercurio, llamado entonces plata viva o, en el manuscrito, argent vivo.

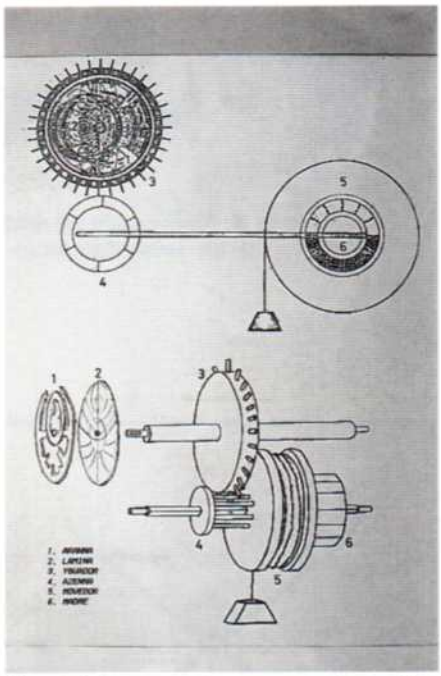
El principal elemento de dicho reloj es una rueda o cámara circular dividida en doce compartimientos comunicados entre sí por doce agujeros muy pequeños; seis de los compartimientos están llenos de mercurio y al desequilibrar la rueda, el mercurio se desplaza muy lentamente de un compartimiento al siguiente intentando ocupar siempre los seis situados en la parte inferior.

Un peso cuelga de una cuerda arrollada en una polea (5) adosada a la rueda de mercurio (6), de modo que tirando de la cuerda hacia abajo, el mercurio se ha de desplazar por los compartimientos de modo continuado, empleando para ello un tiempo que es utilizado para hacer girar la araña (1) de un astrolabio (2) a la velocidad de una vuelta por día; dicha velocidad se puede acabar de conseguir acoplando un piñón (4) y una rueda dentada (3) entre la rueda de mercurio y el astrolabio.

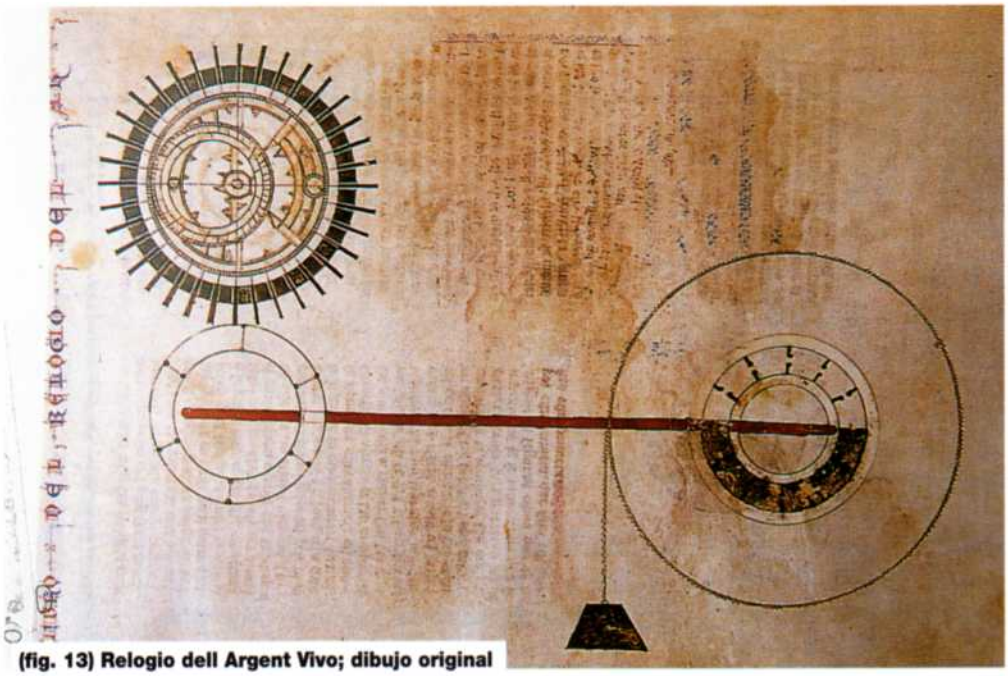
El reloj de mercurio se completa con un mecanismo sonoro con el cual se accionan unas campanas a cada hora o espacio de tiempo predeterminado en la rueda dentada del astrolabio.



Perspectiva de los elementos constituyentes del mecanismo de sonería, descrito sin imágenes en el manuscrito, como complemento del reloj de mercurio.



El reloj de mercurio con sus elementos numerados y nuestra interpretación del mismo vista en perspectiva.

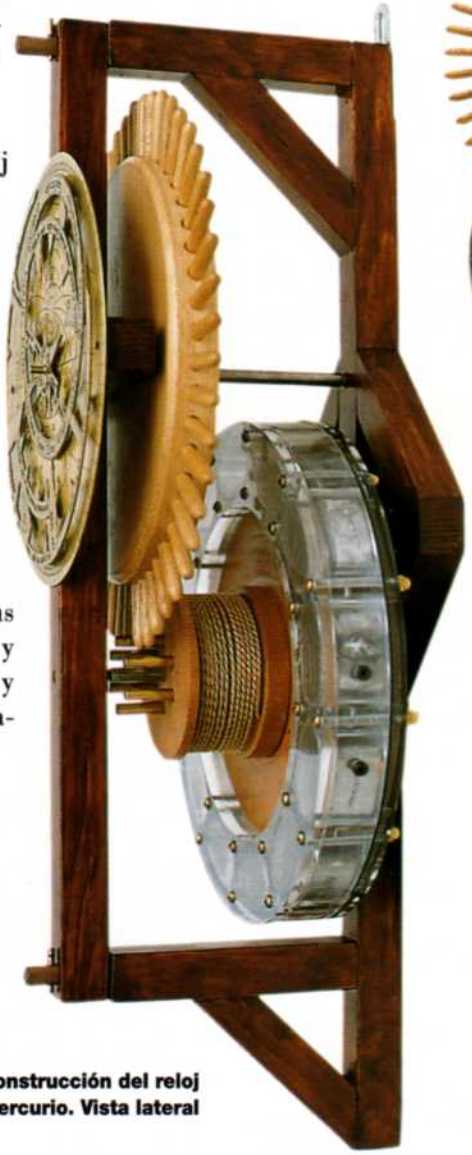


(fig. 13) Relogio dell Argent Vivo; dibujo original

El hecho que se impulse el reloj de mercurio con un peso, unido a la presencia de un primitivo carillón también impulsado con un peso, ha hecho asociar el reloj de mercurio alfonsí

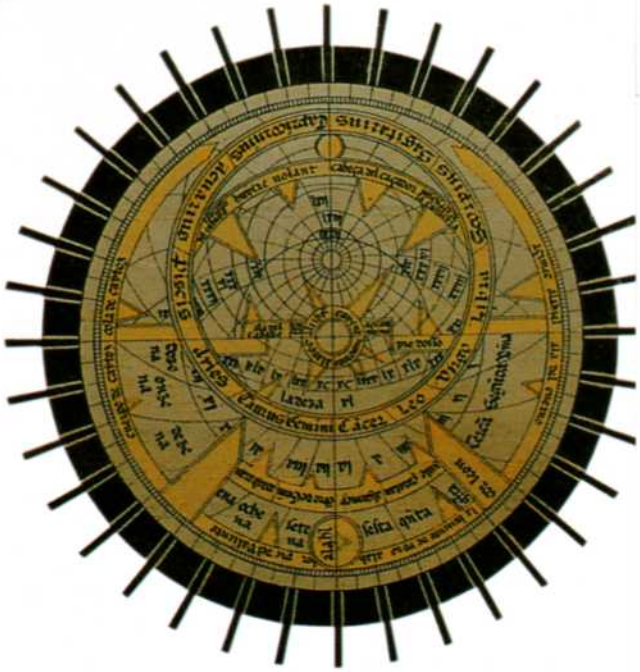
con un precedente inmediato de los relojes mecánicos que aparecieron en Europa pocos años después de la publicación de los Libros alfonsíes.

Sin embargo el reloj de mercurio es una clepsidra y sus diferencias con los futuros relojes mecánicos son todavía abismales. A pesar de todo debemos reconocer los relojes alfonsíes como los más evolucionados e ingeniosos de su época y fruto de sus precedentes griegos y árabes compilados y mejorados por el saber de Rabiçag.



Reconstrucción del reloj de mercurio. Vista lateral

Reconstrucción del reloj de mercurio. Vista frontal



Astrolabio del reloj de mercurio. Dibujo original