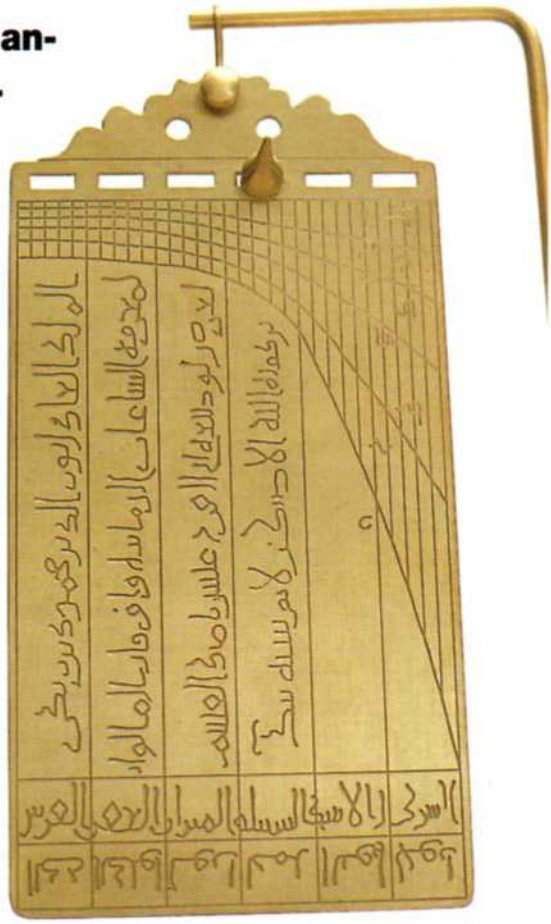
DE MENSURA TEMPORIS

Eduard Farré Olivé

De Mensura Temporis es una frase latina que significa "sobre la medida del tiempo" y que aparece en los antiguos tratados de astronomía u otras ciencias generales como encabezamiento del capítulo que trata de la ciencia y arte de la relojería.

También es el nombre de una empresa artesanal cuya principal dedicación consiste en reproducir antiguos relojes o instrumentos para medir el tiempo de los que, en muchas ocasiones, solo se conserva una descripción literaria. De sus talleres han salido astrolabios, relojes de sol, clepsidras, relojes de fuego, planetarios, relojes misteriosos y otros instrumentos de difícil clasificación.

Muchas de sus obras se encuentran en exposición permanente en Museos y en colecciones especializadas en la historia de la medida del tiempo; otras han sido encargadas para exposiciones temporales, siempre con la intención de estudiar, ver o manipular aquellos relojes que solamente se conocían por su descripción literaria más o menos completa o de difícil acceso.



Reloj de sol portátil de Nur Ad-Din

Reloj de sol otomano

Cuando se trata de reproducir instrumentos que sólo existen sobre el papel, se recurre a la interpretación exhaustiva de los textos originales a cargo de equipos que se constituyen, según las necesidades, formados por expertos latinistas, arabistas, medievalistas, historiadores y relojeros. Los relojeros de D.M.T. han adquirido así una buena dosis de cultura medieval y árabe y se han especializado profundamente en la historia del reloj.

LOS RELOJES DE ALFONSO X EL SABIO

Dentro de los *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.

Reloj de mercurio de Alfonso X

Reloj de candela de Alfonso X

No es la primera vez que se reproducen los relojes de Alfonso X, pero la nueva versión realizada en los talleres de D.M.T. fue hecha a partir de una nueva interpretación de los manuscritos alfonsíes conservados en la Universidad Complutense de Madrid y combinando la fidelidad al texto y a la época con el empleo de materiales modernos adecuados para el uso didáctica de los relojes.

EL RELOGIO DELL AGUA

El libro del Relogio dell Agua describe una clepsidra de concepción muy avanzada para la época; se trata de un instrumento muy complejo, tanto desde el punto de vista tecnológico como constructivo.

Por el destino museístico que se dió a esta reproducción, la mayor parte de las piezas que lo constituyen se realizó con materiales transparentes para facilitar al espectador la comprensión de su funcionamiento.

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

Clepsidra de Alfonso X

Una vez lleno el depósito mayor, éste va cediendo el agua al menor a través de un sifón; cuando el nivel del más pequeño ha llegado a cierta altura, el agua cubre la entrada de aire, 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, repitiéndose el 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 es filtrada por una redecilla y gotea regularmente a través del agujero calibrado hacia el embudo que canaliza el agua hacia el recipiente inferior en el interior del cual hay un flotador con un cuadro acoplado en el que se representan las horas del día y las constelaciones del firmamento.

Reloj de los 12 candiles de Ibn Yunis

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 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.

EL RELOGIO DE LA CANDELA

El Relogio de la Candela alfonsí muestra la hora y la posición de los signos zodiacales de un modo similar al de la clepsidra, pero en este caso el ascenso se produce al consumirse una vela.

Aquí se optó por realizar la estructura del reloj con latón macizo dejando al aire los laterales de la caja que contiene los mecanismos para observar mejor su funcionamiento.

La vela está sujeta sobre una plataforma que puede ascender impulsada por los 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 el ascensor de la vela y el cuadro con los signos horarios y astronómicos, saliendo éstos a la vista a medida que transcurre el tiempo.

Este reloj se construyó casi enteramente de latón y sin el mueble que debía cubrirlo debido al destino museístico al que estaba destinado.

EL RELOGIO DELL ARGENT VIVO

El Relogio dell Argent Vivo es una especie de clepsidra de circuito cerrado o rotación en la cual el agua ha sido substituida por otro líquido mucho más denso: el mercurio, llamado entonces plata viva o argent vivo.

El principal elemento de dicho reloj es una rueda o cámara circular dividida en doce compartimientos comunicados entre sí por otros tantos agujeros muy pequeños; seis de los compartimientos están llenos de mercurio que, al desequilibrar la rueda, 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 adosada a la rueda de mercurio, de modo que tirando de la cuerda hacia abajo, el mercurio se ha de desplazar continuamente por los compartimientos, empleando para ello un tiempo que es utilizado para hacer girar la araña de un astrolabio a la velocidad de una vuelta por día; dicha velocidad se puede conseguir acoplando un piñón y una rueda dentada entre la rueda de mercurio y el astrolabio.

En el reloj de mercurio se emplearon materiales y acabados fieles a la época, latón y madera, excepto en la cámara de mercurio que fue realizada en material transparente con fines didácticos.

Clepsidra de las gacelas de Al-Muradi

CLEPSIDRA DE LAS GACELAS DE AL-MURADI

El tratado de al-Muradi (s. XI) titulado *Libro de los Secretos sobre los Resultados de los Pensamientos* contiene la descripción de 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 Rabiçag en la corte del rey Alfonso X.

El manuscrito, escrito en árabe, se halla en muy mal estado, faltándole una buena parte de texto en cada página por lo que la interpretación del mismo, realizada en la Universidad de Barcelona, tuvo que ser forzosamente incompleta.

La empresa D.M.T. fue llamada para realizar la primera reconstrucción de una de las clepsidras del manuscrito, lo que comportó un ingente trabajo de más de dos años durante los que se sucedieron ensayos, prototipos y las consiguientes reconsideraciones sobre la interpretación del texto.

El primero de los relojes del manuscrito de Al-Muradi es la llamada "clepsidra de las gacelas" por la presencia de dichos animales entre los autómatas de que consta. La clepsidra de las gacelas está concebida como un reloj de agua con una serie de autómatas que representan una escena teatral al finalizar cada período de una hora.

Tratándose de un modelo a escala 1:1 construido siguiendo fielmente la descripción medieval de Al-Muradi, se utilizaron técnicas y mecanismos contemporáneos a la época de su descripción y materiales modernos transparentes que permiten seguir las evoluciones del agua y sus efectos en el movimiento de las figuras.

Dragón despertador chino

Cuadrante astronómico de Al-Shihab

Durante un ciclo de la clepsidra, es decir, durante el tiempo de una hora, debemos distinguir dos grandes capítulos: la fase de llenado de los depósitos que dura unos 58 minutos y el tiempo durante el cual se vacían los recipientes, depositando el agua en las balanzas que dan lugar al movimiento de los autómatas; esta fase duraría unos dos minutos.

En la fase de movimiento, el agua procedente de los depósitos se dirige primero al recipiente inferior situado bajo las muchachas; cuando el peso del agua recibida vence el peso de la balanza contrapesada con mercurio, dicho recipiente desciende abriendo la puerta del edificio y haciendo que salgan las muchachas al exterior; al mismo tiempo las gacelas agachan la cabeza y una de ellas presiona la válvula de vaciado de los depósitos de las gacelas.

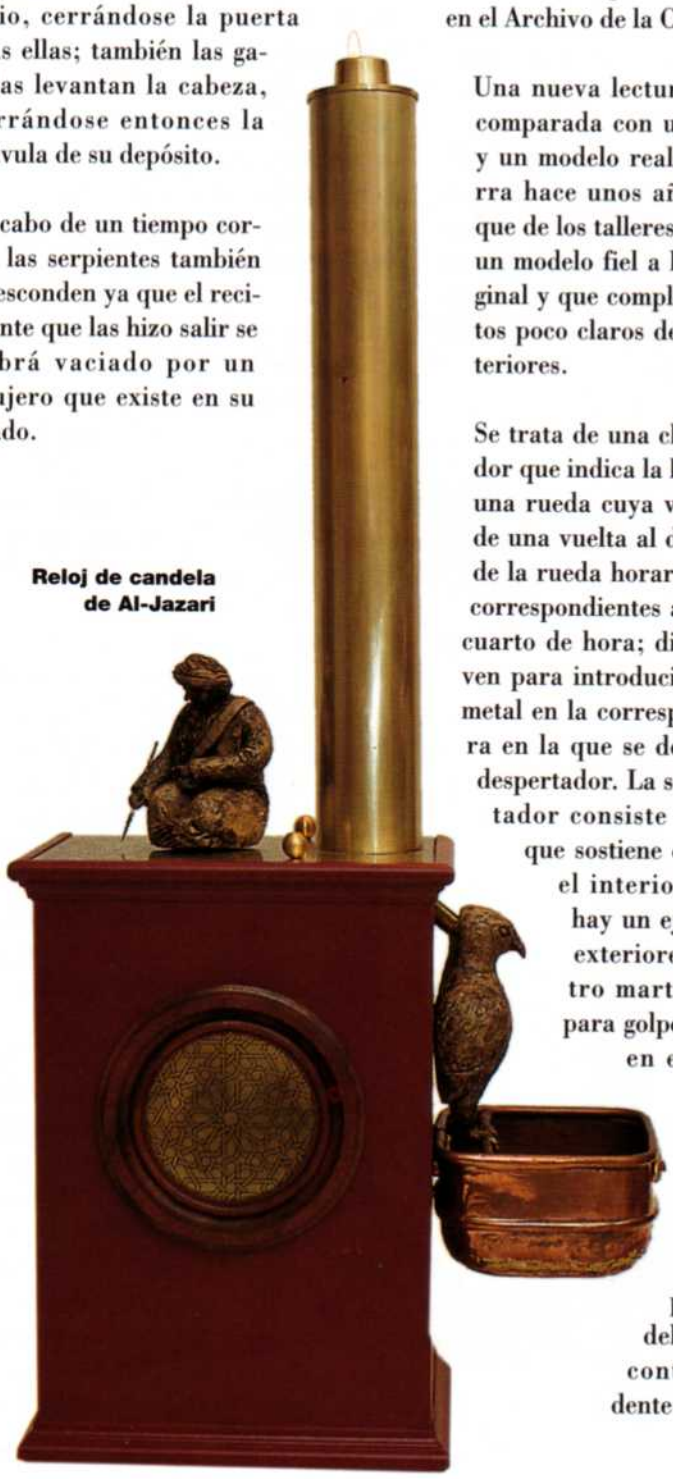
Los depósitos de las gacelas se vacían dentro de un recipiente basculante que, al descender impulsado por el peso del agua, tira hacia el exterior el esclavo oculto dentro del pozo central; al subir el esclavo destapa el fondo de su propio

Clepsidra despertador de Ripoll

recipiente desagotandolo en hacia otro recipiente contrapesado que al descender impulsado por el peso del agua recibida, provoca la aparición de las tres serpientes.

La balanza y la plataforma de las serpientes tienen conexiones con las válvulas de vaciado de los recipientes de las muchachas y del esclavo, de modo que al salir las serpientes, se abren dichas válvulas, vaciándose los recipientes y provocando que el esclavo regrese al interior del pozo y las muchachas se escondan en el edificio, cerrándose la puerta tras ellas; también las gacelas levantan la cabeza, cerrándose entonces la válvula de su depósito.

Al cabo de un tiempo corto, las serpientes también se esconden ya que el recipiente que las hizo salir se habrá vaciado por un agujero que existe en su fondo.



Reloj de candela de Al-Jazari

En dicha posición, la clepsidra habrá terminado un ciclo y los recipientes superiores se empiezan a llenar de nuevo para comenzar un segundo ciclo.

LA CLEPSIDRA DE RIPOLL

La clepsidra de Ripoll es un reloj de agua con un mecanismo de despertador acoplado. Su descripción, incompleta, aparece en el manuscrito 225 procedente del Monasterio de Ripoll, datado en el siglo XI y que se conserva en el Archivo de la Corona de Aragón.

Una nueva lectura del manuscrito comparada con una interpretación y un modelo realizados en Inglaterra hace unos años, ha permitido que de los talleres de D.M.T. saliera un modelo fiel a la descripción original y que completa algunos aspectos poco claros de las versiones anteriores.

Se trata de una clepsidra con flotador que indica la hora por el giro de una rueda cuya velocidad debe ser de una vuelta al día.En la periferia de la rueda horaria hay 96 ranuras correspondientes a intervalos de un cuarto de hora; dichas ranuras sirven para introducir una plancha de metal en la correspondiente a la hora en la que se desea que suene el despertador. La sección del despertador consiste en una columna que sostiene dos campanas; en el interior de la columna hay un eje cuyos extremos exteriores sustentan cuatro martillos articulados para golpear las campanas; en el eje se enrolla una cuerda de cuyo extremo cuelga un peso motriz. Cuando desciende el peso motriz, provoca el giro del eje y el resonar continuado y estridente de las campanas.

Reloj de candela de Ibn Al-Jatib

El vínculo entre ambos sectores es una cuerda fija en la columna con un lazo que sujeta el eje del despertador; en el extremo libre de dicha cuerda hay un pequeño peso que se coloca en posición bastante inestable cerca de la periferia de la rueda horaria, de tal modo que cuando la palanca metálica que ha sido colocada en la hora prevista para que suene el despertador, toca el pequeño peso, lo tira de su soporte y éste libera el eje del despertador provocando su acción.

RELOJ DE CANDELA DE AL-JAZARI

Reconstrucción de uno de los cuatro relojes de candela que constan en el *Tratado de relojes* de al-Jazari (s. XIII). En el reloj de candela del escriba hay un escriba que gira una vuelta en las quince horas de la noche más larga para una determinada latitud geográfica; hay también un halcón que deja caer una bola en un cazo a cada hora.

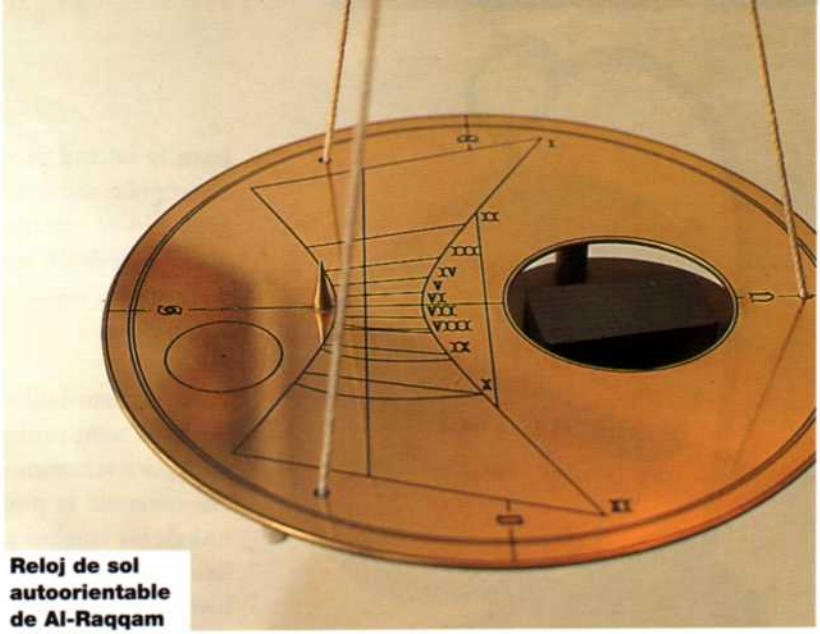
Una vela situada en el interior de una columna hueca y sostenida por una plataforma móvil que es empujada hacia arriba por un peso, se consume en el intervalo de las quince horas nocturnas. Durante su consumo, se va acortando progresivamente permitiendo que la plataforma que la sostiene vaya ascendiendo y el peso principal descendiendo en la misma proporción. Ambos movimientos son aprovechados, mediante varios sistemas de poleas para que aparezca, a intervalos de una hora, una bola en la boca del halcón, que caerá en un recipiente dispuesto a tal fin. Al mismo tiempo otras cuerdas conectadas al peso principal y que recorren varias poleas, hacen girar la figura del escriba que señala la hora sobre una esfera horaria dividida en las quince horas de la noche.

La reconstrucción se llevó a cabo a partir del estudio realizado por Donald R. Hill en 1974. Se empleó madera para el mueble y las figuras (escriba y halcón) y latón para los elementos funcionales (soporte de la vela, ascensor, depósito de la bolas y elementos estructurales internos. Los pesos y contrapesos son de plomo. El mueble se dejó abierto en su parte posterior con el objeto didáctico de permitir su visión al observador.

RELOJ DE CANDELA DE IBN AL-JATIB

En ocasión de su reposición en el trono en 1362, el monarca Muhammad V quiso celebrar en Granada, con gran pompa y solemnidad, la fiesta del nacimiento del Profeta, el 30 de diciembre del mismo año. La celebración en la Alhambra empezó en el momento de la puesta de sol con el rezo colectivo por parte de todos los invitados de la oración del crepúsculo, y terminó después de la oración de la aurora.

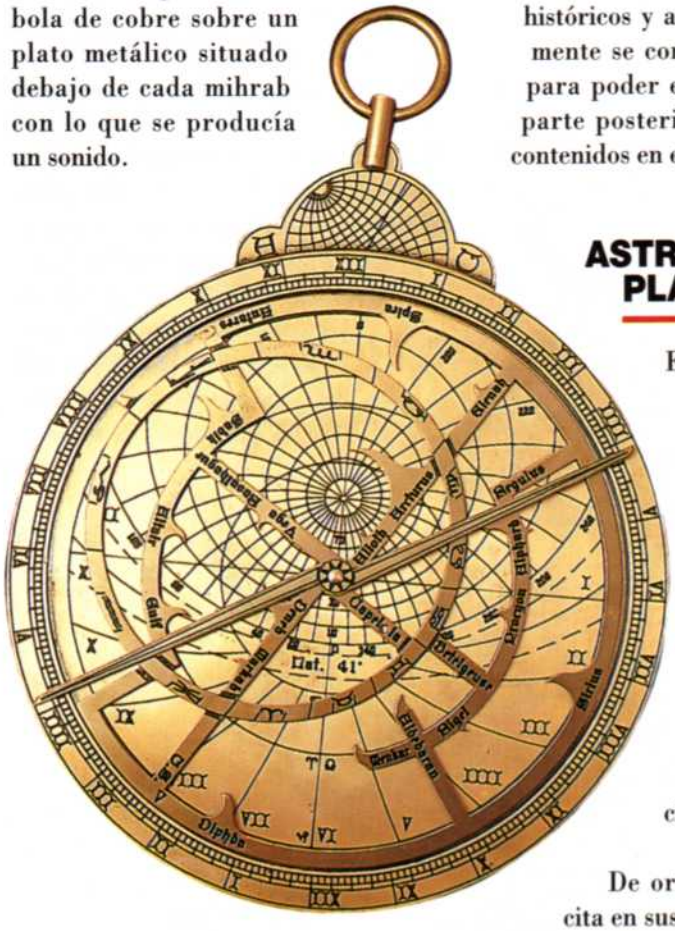
A lo largo de la noche fueron sonando las horas que marcaba un curioso reloj que nos describe Ibn al-Jatib. El aparato constaba de una estructura hueca de madera, con una altura de una casi 1.70 m y forma de prisma dodecagonal. En cada uno de los doce lados se encontraba una concavidad (mihrab) con la puerta cerrada por un pestillo. En la cima se encontraba un cirio en el que se habían trazado divisiones correspondientes a las horas nocturnas de aquella noche. De cada una de las divisiones salía un cordel que iba a parar al pestillo del mihrab correspondiente. El funcionamiento era simple: encendido el cirio, se iba consumiendo hasta que transcurría la primera hora, entonces, al quemarse el cordel, quedaba libre el pestillo y se abría la puerta del primer mihrab del que caía una bola de cobre sobre un plato metálico situado debajo de cada mihrab con lo que se producía un sonido.



Reloj de sol autoorientable de Al-Raqqam

Por otra parte, en el mihrab se encontraba también un papel que contenía un poema relativo a la hora transcurrida. Al abrirse las puertas de los mihrab, aparecían los poemas y el encargado del reloj se los entregaba a un lector para que recitase los versos correspondientes.

La reconstrucción de tal reloj fue realizada a partir de la descripción de Ibn al-Jatib con criterios tecnológicos históricos y a una escala 1:3. Solamente se construyeron seis caras para poder exponer al público la parte posterior y los mecanismos contenidos en el interior.



Astrolábio planisférico

ASTROLABIO PLANISFERICO

El astrolabio es uno de los instrumentos científicos más fascinantes tanto por su larga historia, que abarca más de un milenio, como por la complejidad de su concepción y la belleza de su realización que comprende grabados, cincelados y calados.

De origen griego, Tolomeo cita en sus escritos las bases geométricas de su trazado; su tradición

Calendario bizantino con reloj de sol

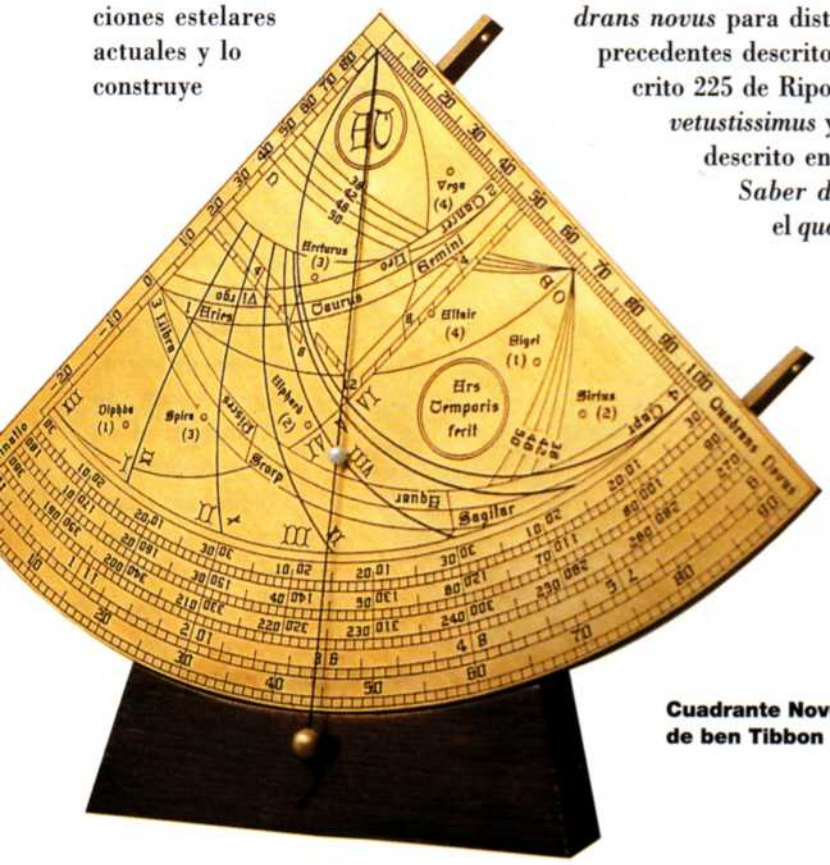
pasó a manos de los árabes que supieron extraer de tan complejo instrumento todas sus capacidades; ya en el siglo XVI, John Blagrave lo designó con el apelativo de "Joya Matemática", lo que resume en un merecido sobrenombre la conjunción de lo bello con lo útil.

D.M.T. ha diseñado expresamente su astrolabio para las posiciones estelares actuales y lo construye para la latitud geográfica que le sea encargada; siguiendo la tradición, el grabado se realiza al ácido sobre plancha de latón maciza y los calados de la araña, alidadas y otras piezas se hacen a mano.

Con un astrolabio se puede calcular la hora temporal y equinoccial, en cualquier momento del día y de la noche tomando la posición del Sol o de una de las muchas estrellas que se hallan representadas en la araña; también se puede saber la duración de los crepúsculos en cada día del año, la hora de la salida y puesta del Sol o de una estrella concreta; los astrólogos antaño utilizaban el astrolabio para calcular la carta astral de los personajes que la requerían y los agrimensores también lo usaron para medir alturas y desniveles en la superficie terrestre.

CUADRANTE NOVUS

A finales del siglo XIII, cuando el uso del astrolabio estaba muy consolidado, el matemático y astrónomo Jacob ben Mahir ben Tibbón cuyo nombre latino era Profatius Judaeus diseñó un nuevo tipo de cuadrante que se ha convenido en designar como *quadrans novus* para distinguirlo de sus precedentes descritos en el manuscrito 225 de Ripoll, el *quadrans vetustissimus* y del cuadrante descrito en los *Libros del Saber de Astronomía*, el *quadrans vetus*.



Cuadrante Novus de ben Tibbon

Nocturlabio

Del cuadrante de Profatius solamente nos han llegado cuatro ejemplares hasta nuestros días, tal es la escasez de un instrumento científico altamente especializado y evolucionado.

El *quadrans novus* es un astrolabio planisférico plegado dos veces sobre sí mismo tomando como ejes sus diámetros vertical y horizontal. Con esta operación se consigue un cuadrante cuatro veces más preciso que un astrolabio de su mismo tamaño. El *quadrans novus* es, entre otras cosas, un reloj de sol portátil con el cual la hora se determina por la medida de la altura angular de un cuerpo celeste, sea éste el Sol o una de las estrellas representadas en el propio cuadrante.

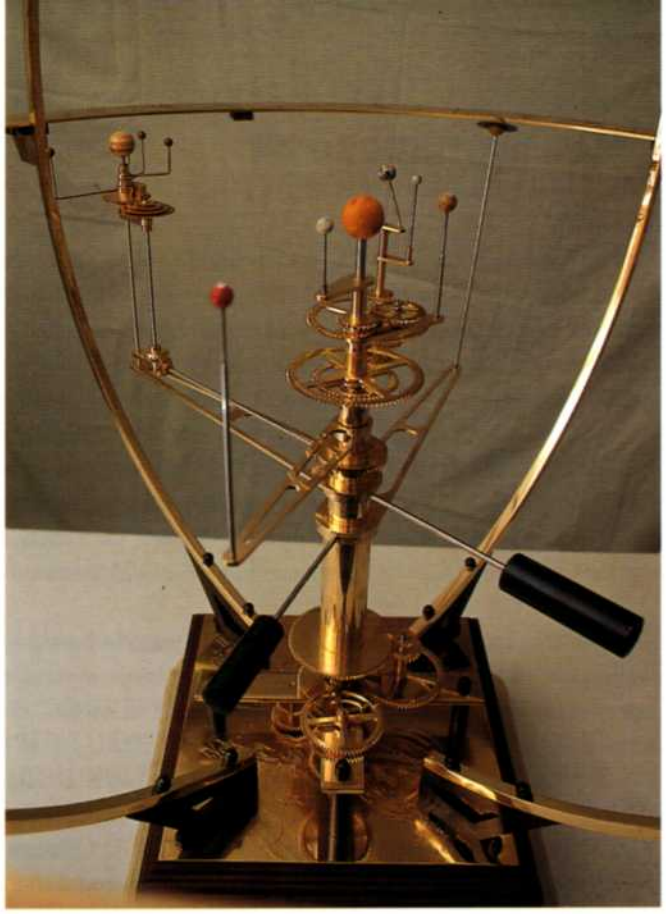
El *quadrans novus* que presenta D.M.T. no es la reproducción de ninguno de los escasos ejemplares supervivientes ni la imagen de ningún texto histórico. Ha sido calculado, diseñado y trazado actualmente siguiendo la tradición ancestral que caracteriza este tipo de instrumentos.

ASTROLABIO CON CALENDARIO MECANICO DE ABI-BAKR

El astrolabio de Abi-Bakr, fechado en 1221, es convencional y no tiene especial interés a no ser por los bellos grabados de la araña que representan algunos animales en consonancia con las constelaciones homónimas del firmamento.

El calendario oculto en su interior es accionado por el caballito que sostiene la araña e indica la fase y el día de la Luna, así como la posición de la Luna y del Sol en el zodíaco. Dichos datos son actualizados por un tren de engranajes interior que comprende ocho ruedas dentadas.
El gran interés de este calendario mecánico reside en que es la única realización superviviente del dibujo que, dos siglos antes, realizó al-Biruni, probablemente a la vista de un ejemplar más antiguo, o de origen griego como el calendario bizantino del s. VI, algunos fragmentos del cual se conservan en Londres.

La reconstrucción realizada por D.M.T., ha respetado el tamaño original, así como el aspecto general del astrolabio, incluyendo un plato, la araña con alidada y el soporte superior con los elementos suspensorios. La plancha posterior también se ha reproducido del original y en ella se han abierto las ventanas correspondientes para mostrar los datos astronómicos. Los laterales de la gruesa mater, que en el original tienen grabados relativos a los meses del año, se han suprimido para permitir la visión de los engranajes interiores. Dichos engranajes han sido tallados en latón de 2 mm de espesor, dando a los dientes el perfil triangular original; la rueda de la Luna ha sido tallada en plata maciza de 2 mm y grabada al ácido con los días de los dos meses que comprende y los espacios de las lunas que han sido ennegrecidos oxidando la plata de dichos círculos.



Planetario del siglo XVIII

PLANETARIO DE ESTILO SIGLO XVIII

El reto en este encargo consistió en realizar un planetario con el estilo estético de los que se hicieron durante el siglo XVIII, pero con la autonomía y precisión que permite la moderna tecnología relojera.

Para empezar se calcularon las relaciones de engranajes capaces de dar las revoluciones adecuadas a cada móvil de los que constaría el planetario: Mercurio, Venus, la Tierra con la Luna, Marte, Júpiter con cuatro de sus satélites y Saturno. Los engranajes tallados con dichos cálculos aseguraron una precisión para el planeta con más tolerancia, Mercurio, de un adelanto de un signo del zodíaco cada 1.100 años; para Júpiter este error se acumularía al cabo de 440.000 años.

Para aprovechar la precisión de los engranajes, se dotó al planetario de un movimiento de reloj electrónico, con autonomía para 10 años, radiocontrolado por la emisora de Prangins dependiente del centro horario de Neuchâtel.

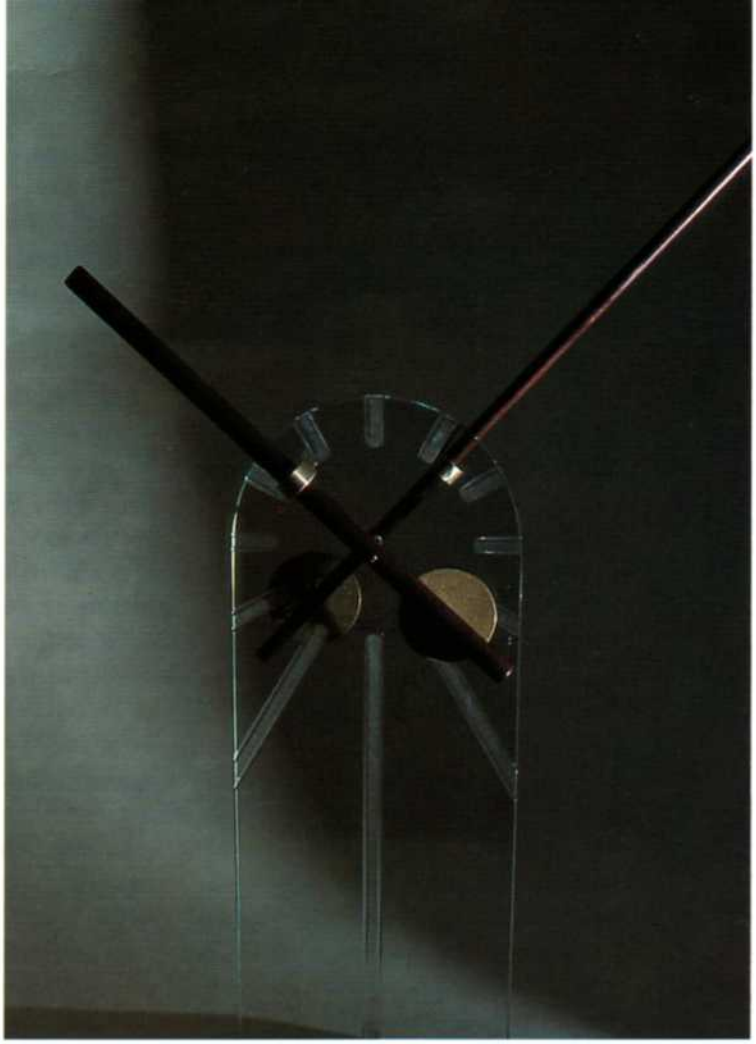
Cabe destacar que la Tierra mantiene inclinado su eje siempre hacia la posición polar con lo que son observables las estaciones del año, que la Luna gira alrededor de la Tierra aprovechando la diferencia entre la velocidad de ésta y la de Venus a través de un tren de engranajes planetarios y que los satélites de Júpiter son impulsados por ejes unidos por varios engranajes de 90º.

Astrolabio con engranajes de Abi-Bakr

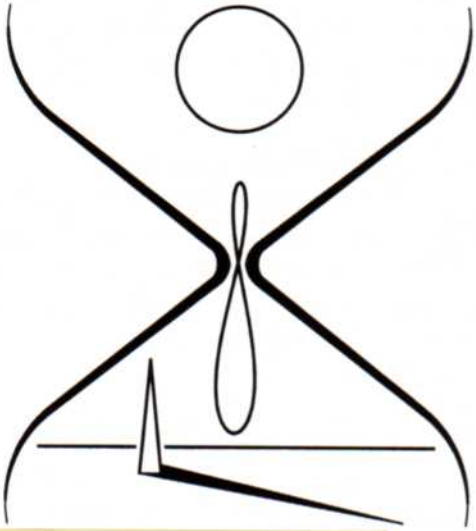
RELOJ MISTERIOSO DE AGUJAS INDEPENDIENTES

Con un diseño vanguardista, este reloj de sobremesa se caracteriza por la falta aparente de máquina que impulse sus grandes agujas, las cuales parecen flotar en el aire. Cuando se ha descubierto que cada una de las agujas esconde un pequeño mecanismo de relojería en el interior de su contrapeso, todavía no se comprende como dicho mecanismo, sin nexo alguno con el eje de las agujas, puede moverlas con absoluta precisión. El misterio aumenta al desplazar manualmente las agujas, que vuelven siempre a la hora correcta, sea cual sea el tiempo durante el que se hayan estado moviendo.

Esta versión modernizada de una idea centenaria ha sido galardonada con la máxima distinción en diversos certámenes internacionales: I TROFEO "MANUEL GUTIERREZ" de la Asociación de Relojeros de Madrid, 1985. MEDAILLE D'OR EN HORLOGERIE, LE PRIX DE L'INVENTION HORLOGERE de la Fédération de líIndustrie Horlogére Suisse y PREMIO AL MEJOR INVENTO ESPAÑOL de la Cámara de Comercio Hispano-Suiza en el 18º Salon International des Inventions et des Techniques Nouvelles, Ginebra 1990.



Reloj misterioso de agujas independientes



De Mensura Temporis

CONSTRUCCION de astrolabios, planetarios y relojes astronómicos

CALCULO Y DISEÑO técnico de relojes de sol

REPRODUCCION de relojes y de instrumentos náuticos y horarios históricos