**La inscripción clave**

Ya se había visto anteriormente en la inscripción de la parte trasera (I), la palabra http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/eaiki.jpg (hélice o espiral), pero no se había podido relacionar con ninguna de las piezas, ni intuir a qué podía referirse.

Hubo que esperar a la tomografía de rayos X de 2005, cuando se descubrió que la frase continuaba:**"subdivisiones 235".**

Resulta que 235 meses tenía el calendario Metónico, que era un calendario lunisolar muy utilizado en Grecia en esa época y que se sospechaba era el representado en el dial trasero superior del mecanismo. Si en vez de un dial de círculos concéntricos, se trataba de un dial en **espiral continua**, éste marcaría consecutivamente las 235 divisiones del calendario **Metónico completo.** Y a partir de ahí se pudo deducir el uso de los demás componentes, como el dial trasero inferior, que también era en espiral, con un total de 223 divisiones, correspondientes a los meses que tiene un **"Saros"**, o período de unos 18 años, a partir del cual se repiten los eclipses. La determinación de la **ocurrencia de los eclipses**era muy importante en la antigüedad. Se sabe que hay registros de hace muchos miles de años (tablillas babilónicas y chinas) de los eclipses ocurridos, por lo que, experimentalmente, se sabía con exactitud la medida de estos periodos.

Diseñar un dial en espiral tiene sus complicaciones, porque la aguja marcadora debía deslizar sobre la guía en espiral, pero sólo una de las divisiones de uno de los círculos sería la indicada. Y ésta es otra de las sorpresas del**mecanismo, puesto que utilizaba para ello mecanismos de deslizaderas o agujas deslizantes y guías en espiral,** como veremos más adelante. Al final de la espiral, el puntero debía volverse a cero manualmente.

|  |  |
| --- | --- |
| [http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/imag_4_12_peque.jpg](http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/imag_4_12_grande.jpg)  *J. Radiografías de deslizaderas (izquierda) y su reconstrucción (derecha).*  [http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/imag_4_13_peque.jpg](http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/imag_4_13_grande.jpg)  *L. Inscripciones en los diales olímpico y metónico conservadas en naranja y reconstruidas en violeta.* | [http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/imag_4_14_peque.jpg](http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/imag_4_14_grande.jpg)  *K. Componentes de los diales traseros, sobre reconstrucción de Tony Freeth (AMRP) 2009* |

**Los diales traseros (K)**

**- El Dial Metónico.**Calendario lunisolar griego [1]. Estaba en la parte superior y tenía 47 divisiones por vuelta, con 5 vueltas, totalizando los 235 meses del ciclo Metónico de 19 años. Incorporaba días añadidos en los años considerados "bisiestos": 5 días de cada 19 años, dando un año bastante aproximado de 365,26 días. Los años eran de 12 meses (de 29 ó 30 días alternos) pero añadiendo un mes cada 2 ó 3 años, según una secuencia fija y exacta.

**- El Multiplicador Calípico** [2]. El calendario Metónico no era del todo exacto y para evitar la acumulación de errores se contaba con 4 ciclos metónicos, que hacían 4x19 años= 76 años, en los que se añadía 1 día cada 4 años, dando un año de **365,25 días** (como el año egipcio y casi exacto al actual). Para ello, había una esfera pequeña dividida en cuatro cuadrantes, cuya aguja iba acumulando ciclos metónicos hasta un total de 4 (dentro del dial superior metónico, hay dos pequeños: el calípico a la izquierda y el olímpico a la derecha [5], que explicaremos más tarde).

- **El Dial de Saros**para predecir eclipses [3]. En su dial espiral contaba con 223 divisiones de **meses sinódicos** (el tiempo que tarda en producirse la misma fase lunar), equivalentes a 242 meses **draconíticos**(el tiempo en que tarda la Luna en volver al mismo nodo en su órbita) = 18 años, 11 días y 8 horas = 6.585,3 días, que es el período a partir del cual se repite el ciclo de eclipses: el Saros.

Además hay 239 **meses anomalísticos**completos en el Saros, (tiempo entre dos pasos de la Luna por su perigeo) por lo que están marcados en su lugar, los eclipses que son totales y parciales. Hay 239-223=16 ciclos en un Saros; por eso está dividido en 4 vueltas y en cada una hay 4 ciclos completos lunares (coincide fase, tamaño y tipo de eclipse)

- **El Multiplicador Exeligmos** [4]. El ciclo de Saros es lo que tarda en repetirse un mismo eclipse, pero no sobre el mismo punto de la Tierra sino a unos 120º sobre su superficie. Cada 3 ciclos Saros = 3 x 18 años = 54 años y 34 días http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/igual_lomismo.jpg 19.756 días sí se repite casi exactamente el eclipse sobre el mismo punto de la Tierra. Para eso se construyó un acumulador de 3 Saros, llamado Exeligmos, que aparece en el interior de la esfera inferior, a la derecha del centro.

Con éstos y el dial frontal, se podían predecir los eclipses de Sol y Luna, con hora, día, mes y año.

**La interpretación de los diales traseros**

En el dial de Saros (inferior) hay inscripciones en sólo algunos de los 223 meses (en los que se produce algún eclipse), con 4-10 caracteres que definen las características del eclipse o eclipses.

Veamos un ejemplo de uno de los meses en los que aparece la inscripción:

http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/form_1.jpg

El significado es el siguiente:

http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/sigma.jpg = http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/form_2.jpg = SELENE (eclipse lunar).

**H** = http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/form_3.jpg = ELIOS (eclipse solar).

**H\M** = http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/form_4.jpg = EMERAS (del día).

**N\Y**= http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/form_5.jpg = NICTOS (de la noche).

http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/FORM_6.jpg E = http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/form_7.jpg E = hora E.

http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/theta.jpg= letra de no de orden del eclipses.

Así pues, en este mes del Saros se producirían dos eclipses, uno de Luna, durante el día, a la hora E y otro de Sol a la hora IB.

En el **dial Metónico (superior)** aparecen los nombres de cada mes en cada casilla de las 235 y en su interior, además del pequeño dial calípico hay otro dial que se explica a continuación.

**El dial olímpico**

Entre los textos desvelados en 2005 por la tomografía aparecieron referencias a los **Juegos Olímpicos Panhelénicos** principales, recogidos en un dial. Éste, dividido en cuatro partes, acumulaba cuatro años y marcaba los juegos olímpicos que correspondía celebrar ese año, según una rotación cíclica.

- El primer año: http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/form_8.jpg, http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/form_9.jpg A = año 1: ISTMIA (Corinto, primavera); http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/form_10.jpg(OLIMPIA, verano).

- El segundo: **LB NEMEA, NAA** = año 2: NEMEA (verano), NAA (Juegos menores de Dodona)

- El tercero: http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/form_11.jpg= año 3: ISTMIA (Corinto, primavera) y PITIA (Delphos, fin verano)

- El cuarto: http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/form_12.jpg= año 4: NEMEA y texto sin descifrar

La fecha de los Juegos Olímpicos (en Olimpia), los más importantes, se celebraban cada cuatro años, comenzando en la luna llena más próxima al solsticio de verano, que calculaban mediante el mecanismo principal del aparato.

**Diales frontales**

En el dial frontal había, como puede verse en la radiografía de la pieza original (M), dos diales concéntricos, perfectamente graduados y que podían deslizar uno sobre otro. El exterior [1] era el **dial del año egipcio (Sótico),**que tenía 365 días, divididos en 12 meses de 30 días y un suplemento de 5 días añadidos. Esta escala era móvil y podía irse girando para añadir un día cada año bisiesto. Para ello se giraba y fijaba con un pasador que encajaba en los 365 taladros que había debajo de la escala.

|  |  |
| --- | --- |
| [http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/imag_4_15_peque.jpg](http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/imag_4_15_grande.jpg)  *M. Diales de año egipcio [1] y zodiaco [2], numerados en días y grados respectivamente. C es el centro de los diales.*  [http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/imag_4_16_peque.jpg](http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/imag_4_16_grande.jpg)  *N. Esquema mostrando los taladros en cada división diaria para la fijación de la corona circular del dial del año.* | [http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/imag_4_17_peque.jpg](http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/imag_4_17_grande.jpg)  *O. Vista de los diales frontales mostrando los diferentes punteros.* |

El dial zodiacal [2], más interior, representaba la eclíptica, con su escala dividida en los 12 signos de constelaciones zodiacales y en 360 grados.

Sobre ellos, señalaban las distintas agujas o punteros coaxiales (O), como: el puntero de posición de la Luna [1], el simulador rotatorio de fases de la Luna [2], el puntero de posición del Sol [3] y el puntero o aguja de día del año [4]. Se ha propuesto que también se mostraban las posiciones de los planetas, pero aún no está demostrado.

Además, en la placa fija frontal estaba grabado el **"Parapegma"** o almanaque: una tabla con ortos y ocasos de estrellas de referencia y constelaciones (Pléyades, Hyades, Vega, Arcturo, Altair, Geminis).

**El cálculo del próximo eclipse**

Mediante este dial frontal y los traseros se pueden predecir los eclipses próximos de esta forma (P):

1. Primero, se gira la manivela para poner el mes y año de la fecha actuales en el dial Metónico (arriba). El puntero del Saros se moverá también con el paso del tiempo.

2. Luego se gira la manivela avanzando el tiempo, hasta que el puntero del Saros señale una inscripción de eclipse. Esa inscripción indicará si se trata de un eclipse lunar o solar y el mes y la hora, pero no el día del eclipse.

3. En el dial frontal, se ajusta con la manivela, muy suavemente, hasta que los punteros del Sol y la Luna estén alineados (eclipse solar) u opuestos a 180º (eclipse lunar) El puntero de día señala en la escala del calendario egipcio el día en que se producirá el eclipse.

**Cadena cinemática y montaje**

29 de los 30 engranajes existentes eran para el cálculo de posiciones de Sol y Luna y fases de ésta, incluso las anomalías de ambos, y para el cálculo de eclipses (Q).

Mediante la tomografía de 2005 se ha podido determinar el número de dientes de cada uno de los 30 engranajes y comparar la exactitud con que reproducían los ciclos celestes (meses, años, eclipses) con los reales, comprobando que su exactitud era de **1/40.000.**

En la Figura (R), se representan las diversas cadenas cinemáticas con flechas de diferentes colores, todas ellas partiendo del engranaje principal que se accionaba mediante una manivela y un engranaje a 90º con él. Una vuelta de esta rueda coincide con el paso de un año y se marcaba sobre el dial de año egipcio.

En azul, la cadena metónica, en la parte superior, que acaba bifurcándose para la representación del dial de la hélice principal (A azul), de su multiplicador calípico (E) y del acumulador de 4 años olímpico (D).

En amarillo, compartiendo las primeras ruedas dentadas de la cadena anterior y luego cruzando al lado inferior a través de la gran rueda de la plataforma lunar (A naranja), para bifurcarse al final en el puntero de Saros (A amarilla) y su multiplicador exeligmos (B).

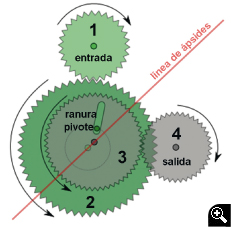
En naranja, la complicada cadena del movimiento lunar, partiendo de la rueda principal por una vía propia, hasta la plataforma de movimiento lunar (A naranja) y las ruedas epicíclicas iguales de simulación de anomalía lunar (B). Nótense el **pasador y la ranura de las ruedas para el arrastre excéntrico.**El movimiento retornaba a través de la otra pareja de ruedas mediante un eje coaxial interior al de llegada del movimiento. Luego se transmitía, también mediante un eje coaxial con el de la rueda principal para llegar a un engranaje cónico (C) que hacía girar una esfera pintada la mitad en blanco y la mitad en negro (D) que simulaba la fase lunar y un puntero que marcaba la edad lunar sobre el dial frontal.

|  |  |
| --- | --- |
| [http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/imag_4_18_peque.jpg](http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/imag_4_18_grande.jpg)  *P. Pasos para el cálculo del próximo eclipse. Fuente: Scientific American 2009.* | [http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/imag_4_19_peque.jpg](http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/imag_4_19_grande.jpg)  *R. Cadenas cinemáticas del Mecanismo de Antikythera. Fuente: Scientific American.* |
| [http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/imag_4_20_peque.jpg](http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/imag_4_20_grande.jpg)  *Q. Disposición de los engranajes, mostrando el mecanismo de anomalía lunar y la hipotética localización de los engranajes perdidos para el Sol y planetas. Fuente: Antikythera Mechanism Research Project.* | [http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/imag_4_21_peque.jpg](http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/imag_4_21_grande.jpg)  *S. Reconstrucción moderna del mecanismo de fases, mostrando además la excéntrica del puntero solar. Fuente: Evans 2010, Science History Publications Ltd.* |

**El simulador de fases lunares**

Dentro de ese conjunto encontramos mecanismos avanzados, como los**engranajes cónicos** para el simulador de fases lunares, que es en sí mismo un gran desarrollo y que sólo volvemos a encontrar en algún reloj astronómico del siglo XVII. Para entender su funcionamiento ver la reconstrucción moderna presentada en la Figura (S).

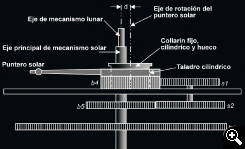
**El mecanismo avanzado de arrastre excéntrico para la Luna y de simulación de fases lunares**

[](http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/imag_4_22_grande.jpg)

*T. Esquema de funcionamiento del sistema de anomalía lunar. En el mecanismo, las ruedas 1, 2, 3 y 4 son todas de 50 dientes e iguales. En la figura se han hecho diferentes para facilitar su comprensión. El centro de la rueda del pivote [2] está desplazado respecto al centro de la rueda de la ranura [3].*

[](http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/imag_4_23_grande.jpg)

*V. Engranaje r1, fragmento D*

[](http://www.revista-anales.es/web/n_13/img/s_4/imag_4_24_grande.jpg)

*U. Esquema de funcionamiento del puntero excéntrico solar.*

Uno de los misterios que más tardaron en descifrarse fue la existencia de cuatro ruedas iguales, de 50 dientes, que pertenecían a la Luna y que no parecían servir de nada (relación de transmisión= 1).

Wright, uno de los investigadores, había descubierto un pivote en una de las ruedas epicicloides, que encajaba en una ranura de otra que estaba inmediatamente debajo. Aún así, el mecanismo no tuvo sentido hasta que se comprobó que **los ejes de ambas ruedas estaba desplazados ligeramente** (T).

Ese arrastre excéntrico desplazado del eje era un simulador de anomalía lunar (diferencia entre la posición real de la Luna en su órbita elíptica y su posición teórica que tendría en una orbita circular ideal y con movimiento uniforme) según **la teoría de epiciclos de Hiparco,** y es el mismo sistema que se utiliza en los planetarios opto-mecánicos actuales para poder aproximar el movimiento de la Luna y planetas a su movimiento real, mediante las leyes de Kepler.

Otro problema era el del movimiento de los ápsides de la órbita lunar: cada 8,85 años el perigeo (punto más cercano de su órbita elíptica) da un giro completo alrededor de la Tierra. La cuidada relación de engranajes que movía el sistema cicloide también hacía girar la línea de ápsides lentamente, al mismo tiempo.

**El sistema de simulación del Sol**

El movimiento aparente del Sol presenta también una anomalía debido a que la órbita de la Tierra tiene una pequeña excentricidad.**La anomalía solar**producida por esa excentricidad se conseguía simular desplazando un poco el eje respecto al centro de la escala, para conseguir velocidades variables en la proporción adecuada. Como la escala es la misma que utiliza el calendario sótico o egipcio, se desplazaba el eje del puntero solar. Como el eje es coaxial con los demás, se construía un collarín hueco desplazado, al que se llevaba el movimiento a través de engranajes laterales (U).

Este sistema de simulación es similar también al empleado en los planetarios mecánicos actuales.

**El engranaje no 30**

Hay otro engranaje (llamado r1, de 63 dientes en el fragmento D) (V) del que no se conoce la función. Se sospecha que podía mover un sistema epicicloide de planetas. Hay indicios de la existencia de esos epiciclos, al menos para los casos de Mercurio y Venus, puesto que hay inscripciones como: *"Hermes, Afrodita, estacionario",* que pueden referirse a los momentos en que Mercurio y Venus frenan su avance y paran su movimiento aparente geocéntrico, antes de iniciar el movimiento inverso en los bucles que describen en el cielo.

Si el mecanismo resolvía Mercurio y Venus, podía resolver también Marte Júpiter y Saturno. Según Wright, otro de los investigadores, hay indicios de epiciclos perdidos para los cinco planetas. También se ha apuntado la posibilidad de que existiera una aguja adicional en el dial frontal para mostrar la edad de la Luna, puesto que el simulador de fases es útil para comprobar su aspecto general, pero no es muy exacto para la determinación del día del mes lunar, por prestarse a una apreciación subjetiva.