

3

Observación de eclipses de Sol en los límites de la centralidad

Eclipse anular del 3 de octubre de 2005

Eclipse total del 1 de agosto de 2008

Carles Schnabel

(Agrupación Astronómica de Sabadell - IOTA, International Occultation Timing Association)

Resumen / Abstract

Objetivo: Medir el diámetro solar utilizando observaciones durante eclipses solares.

Método: Para determinar el radio solar con precisión varios equipos realizaron observaciones durante dos eclipses solares: uno anular el 3 de octubre, en España, y otro total el 1 de agosto de 2008, en Siberia. Las observaciones se llevaron a cabo en la frontera que delimita la zona de centralidad de los eclipses, ya que desde esta localización es donde se puede apreciar el desplazamiento tangencial del limbo lunar. Se utilizaron videocámaras con insertadores de tiempo.

Resultados: Se han determinado los tiempos de aparición y desaparición de más de un centenar de perlas de Baily que ayudarán, conjuntamente con resultados de otras campañas, a determinar con precisión el radio solar y sus posibles variaciones a lo largo del tiempo.

***Aim:** To measure the solar diameter using observations of solar eclipses.*

***Method:** In order to measure the solar radius with precision, different teams have obtained observations during two solar eclipses: one from Spain the 3rd of October, 2005 (annular) and the other from Siberia the on 1st of*

August, 2008 (total). The observations were carried out in at the limit of the central zone of these eclipses, since from this location the tangential displacement of the lunar limb can be appreciated from this location. Video cameras with time inserters were used in this procedure.

Results: *We determined the appearing and disappearing times of more than one hundred of Baily's beads that which, together with the results of other campaigns, will help, together with the results of other campaigns, to calculate the solar radius with precision and to estimate its possible variation with time.*

Introducción

De todos es sabido que los eclipses de Sol tienen lugar al interponerse la Luna entre nuestro planeta y el Sol. Por una curiosa coincidencia, la Luna y el Sol subtenden en el cielo dimensiones angulares prácticamente coincidentes. De esta manera, conocidas con precisión las distancias que nos separan a cada uno de ambos astros, así como el tamaño real de nuestro satélite, es fácil la determinación del tamaño real del Sol si se utiliza nuestro satélite como máscara. Es posible, por tanto, recurrir a la observación de los eclipses solares para medir con precisión el diámetro solar.

En principio, la observación se puede realizar desde cualquier punto de la zona afectada por el eclipse, incluso donde sólo sea parcial. Pero, evidentemente, es mucho más fácil llevar a cabo las mediciones en la zona de centralidad, donde los limbos de ambos astros coinciden al menos en dos momentos bien determinados y susceptibles de ser cronometrados con precisión. Se trata de los contactos 2º y 3º de los eclipses anulares y totales.

Mas una serie de factores afectan la precisión de este procedimiento:

- En medio de la centralidad, la velocidad relativa entre limbos (este y oeste) de ambos astros es máxima, por lo que en una unidad de tiempo determinada por la precisión del reloj, el recorrido del borde lunar sobre el Sol es máximo, restando precisión a la medida.

- El borde de la Luna es montañoso, con desniveles que alcanzan algunos kilómetros. A pesar de la existencia de una cartografía del borde lunar (las cartas de Watts) aplicable a diferentes ángulos de libración, los errores pueden alcanzar el segundo de arco, que proyectado sobre la superficie terrestre equivale como mínimo a 2 km. Sobre el Sol esto significa un valor del orden de 1.000 km.

- El propio limbo del Sol. Como cualquier otra estrella de la secuencia

principal, el Sol es una gran esfera de gas. Por consiguiente, parece pretencioso querer saber donde termina exactamente la *superficie* de un cuerpo gaseoso. Afortunadamente, la fotosfera, la superficie brillante, presenta un límite bien definido con respecto a su capa inmediatamente superior, la cromosfera, unas mil veces menos brillante, y de una emisión espectral bien diferente.

- El tiempo de la observación. Cuanta mayor sea la precisión que se desee alcanzar, tanto mayor será la necesidad de una buena referencia de tiempo, así como la utilización de un método de registro regular. Actualmente los GPS permiten el acceso a una base de tiempo atómico en cualquier lugar del mundo. La cuestión es que cada imagen que se obtenga quede absolutamente bien identificada con su tiempo correspondiente.

De todas formas, persiste un problema: el ΔT , que es la diferencia entre el tiempo que se utiliza de manera cotidiana (TU) y el tiempo dinámico terrestre (TDT), sobre el cual se calculan las efemérides del Sistema Solar. El valor de ΔT depende de la rotación terrestre, afectada por muchos factores: mareas, convección del núcleo, deriva continental, corrientes marinas, etc. Es, por tanto, imposible preverlo con precisión.

La observación desde los límites de la zona de centralidad

La zona de centralidad de un eclipse solar recorre sobre la superficie terrestre una franja con una anchura que, normalmente, varía entre 0 y 500 km. Incluso, dentro de un determinado eclipse, esta anchura también varía a lo largo del recorrido sobre la superficie terrestre. La determinación del limbo solar puede ser realizada observando desde las fronteras que delimitan la zona de centralidad. Desde estos lugares se aprecia el desplazamiento tangencial de uno de los limbos lunares con respecto al limbo solar.

En el caso del eclipse anular del 3 de octubre de 2005, nuestros equipos se situaron en el límite norte de la anularidad, correspondiéndose con la tangencia de los limbos sur del Sol y la Luna. Para el eclipse total del 1 de agosto de 2008, también se observó la tangencia de los bordes sur, pero esta vez situados en el límite sur de la sombra. En los límites se juega con el posicionamiento de varios equipos de registro situados a diferentes distancias de la línea cero, de manera semejante a las ocultaciones rasantes de estrellas por la Luna. La observación desde el límite confiere muchas ventajas, compensando en buena medida varios de los problemas enunciados más arriba.

El movimiento tangente de los bordes norte y sur lunar y solar ralentiza

la desaparición y la reaparición de la fotosfera tras las montañas lunares. De hecho, los puntos de luz que se forman al pasar la luz fotosférica a través de los valles lunares, las denominadas perlas de Baily, se prolongan considerablemente en el tiempo. Las perlas de Baily fueron descritas por primera vez por el astrónomo inglés Francis Baily durante el eclipse anular del 15 de mayo de 1836.

La simple visualización de la formación o no de las perlas de Baily confiere una gran sensibilidad en el establecimiento del límite.

Los márgenes lunares sur y norte se hallan mejor cartografiados que los de otras regiones. La razón estriba en la acumulación de observaciones procedentes de ocultaciones rasantes de estrellas por la Luna.

Procedimiento de observación

El procedimiento se asemeja mucho al de una ocultación rasante de una estrella por la Luna. De hecho, se trata de un caso particular en el cual el punto luminoso es tan extenso o más que la propia Luna. Por un lado, se trata de situar varios equipos de observación perpendicularmente en el interior del límite. Los equipos, situados a centenas de metros unos de otros, registran secuencias y tiempos diferentes de perlas de Baily. Los equipos más exteriores verán la desaparición total de las perlas en el caso de un eclipse anular, y la no desaparición de ellas en el caso de uno total. En cambio, entrando hacia la zona central, hay una estación a partir de la cual, o bien se forma un anillo totalmente cerrado, o bien se produce un momento de totalidad.

Dependiendo de los desniveles orográficos en el contorno lunar, existe una zona de unos pocos kilómetros de anchura (habitualmente, alrededor de 2 a 3 km) dentro de la cual los observadores registran un continuo de perlas. Solamente el hecho de determinar a partir de que profundidad del límite se perciben los fenómenos descritos, facilita ya una buena aproximación al valor del diámetro solar. Por otro lado, cada registro de perlas tomado en cada estación es susceptible de ser analizado cuidadosamente. El análisis consiste en la comparación perla por perla entre el tiempo de aparición o desaparición observado y el tiempo previsto en modelos de predicción. En nuestro caso, se utiliza el modelo que facilita el programa Occult desarrollado por David Herald de la IOTA (International Occultation Timing Association). En este modelo, no solamente se recogen los datos de Watts acerca de los desniveles orográficos lunares, sino también referencias

correspondientes a observaciones de ocultaciones, así como correcciones en la posición de la figura lunar.

El diámetro solar

Las primeras mediciones del diámetro solar se remontan a la antigüedad. Los primeros intentos serios se basaron en observaciones del tránsito del disco solar proyectado. Claudio Ptolomeo (85-165 dC) fue el primero en dar un valor concreto de 31' 20". Posteriormente fueron astrónomos árabes de los siglos IX y X quienes constataron una variación anual entre 31' 12" y 33' 24" (en realidad, 31' 30" y 32' 02"). A partir del siglo XVII los métodos se diversificaron, haciéndose también más precisos. Se utilizaron tránsitos de Mercurio y de Venus y se desarrollaron instrumentos como el telescopio de tránsitos, el astrolabio, el heliómetro, y más modernamente, el sextante solar. Los observatorios solares exteriores a la Tierra, SOHO y PICARD, realizan también medidas del radio solar.

Especialmente interesante fue el empeño del astrónomo alemán Arthur Auwers (1838-1915), quien organizó las campañas de 1874 en Luxor y de 1882 en Punta Arenas para observar los pasos de Venus y así poder determinar con precisión la paralaje solar y, consiguientemente, el radio del Sol. Por último, la mejor determinación de la paralaje la obtuvo en 1889 gracias a la astrometría del asteroide Victoria. Finalmente, combinando los datos procedentes de 2.849 medidas heliométricas, Auwers estableció en 1891 el valor del radio solar en 959,63" teniendo en cuenta una distancia Sol-Tierra de exactamente 1 Unidad Astronómica. Este es el valor aceptado todavía hoy en día como oficial.

Más modernamente, tanto Sofia et al. (1979) como Sofia & Li (2001), demostraron que en escalas de tiempo anuales o decenales, la irradiancia total solar se correlaciona con el radio solar, algo que otros autores parecían corelacionar también con la actividad solar (ver Laclare et al. 1996, Ulrico & Bertello 1995, Noël 1997, Brown & Christensen-Dalsgaard 1998, Noël 2001). De hecho, ya en 1873, A. Secchi y P. Rosa dedujeron de sus observaciones que las variaciones del radio solar estaban ligadas al ciclo de actividad solar, pero en sentido inverso. Como se puede ver, las posibles variaciones del radio solar han dado lugar a múltiples estudios, muchas veces con resultados dispares (p.e. Wittmann 1973, Shapiro 1980, Axel et al. 1993, Vázquez 2004).

Los últimos trabajos basados en observaciones de alta precisión llevadas

a cabo mediante instrumentos del SOHO, parecen, en cambio, confirmar la constancia del radio solar en escalas de minutos a años, como mínimo durante el periodo 1999-2004 (Kuhn et al. 2004).

Desde los años ochenta del siglo pasado, miembros de la IOTA observan regularmente eclipses desde los límites de la centralidad para cronometrar las perlas de Baily. El interés creció a partir de la comparación de las observaciones realizadas en Norteamérica del eclipse del 26 de febrero de 1979 con las de eclipses de 1715 y 1925, que mostraban una disminución de 0,4" en el radio solar (Dunham et al. 1980, Sofia et al. 1983). En 1994 se publicaron valores del radio solar procedentes de otros nueve eclipses (Fiala et al. 1994).

En este intervalo tampoco han faltado observaciones realizadas en la zona central de los eclipses, pero utilizando técnicas espectroscópicas de determinación de los contactos 2º y 3º del eclipse, en combinación con los datos del perfil lunar obtenido a partir de la observación de millares de ocultaciones de estrellas por la Luna (Kubo 1993).

Todos estos trabajos hablan de variaciones, algunas bajo complejos patrones que poco o nada tienen que ver con la actividad solar. Por tanto, a pesar de que los datos más modernos hablen de una constancia, no parece que esté escrita la última palabra sobre el tema. Continúa el interés por la determinación precisa del límite de los eclipses (Dunham et al. 2005).

Observación del eclipse anular del 3 de octubre de 2005 desde Xilxes, Moncofa y Nules (Castellón)

Los esfuerzos de la Agrupación Astronómica de Sabadell se concentraron en el límite norte, donde se distribuyeron 6 estaciones independientes (figura 1). Las cinco más septentrionales, a 1 km de distancia la una de la otra, y siempre por dentro del límite de anularidad previsto por Fred Espenak (NASA) (Eспенak & Anderson 2004), quien también facilitó el perfil previsto de la Luna (figura 2). El sexto equipo, situado en el campamento base, a 9,5 km, quedó totalmente dentro de la zona de anularidad, pero su registro también fue analizado. En la tabla 1 se detalla la composición de los equipos. En cada estación se trabajó con un telescopio dotado de seguimiento automático, filtro solar Baader, y cámara electrónica tipo webcam o de videovigilancia b/n. Aquí terminaban las similitudes, ya que en realidad no hubo dos ópticas iguales, y las webcam trabajaron con parámetros de exposición



Figura 1. Situación de las seis estaciones de observación para el eclipse anular del 3 de octubre de 2005.



Figura 2. Eclipse anular, 3 de octubre de 2005. Fotografía obtenida por Joan López en la estación 4.

Tabla 1. Equipos de observación eclipse anular 3 de octubre 2005

Observadores (1)	Longitud (2)	Latitud (2)	Altitud	Óptica	Cámara	Inserción de tiempo	Referencia del tiempo
0 Antoni Selva	0° 09' 50,1" W	39° 45' 26,5" N	5 m	R 150/750 mm	WebCam ToUCam	no	no
1 Óscar Canales	0° 08' 18,6" W	39° 48' 01,8" N	5 m	R 80/600 mm	Míntron 12V1EX	KIWI	GPS
2 Carlos Perelló	0° 07' 52,3" W	39° 48' 31,2" N	3 m	Mak 125/800 mm	Webcam ToUCam	Ordenador	DCF (3)
3 Joan Rovira	0° 07' 28,8" W	39° 48' 57,7" N	5 m	N. 180/2.300 mm	Webcam ToUCam	Ordenador	DCF (3)
4 Joan López	0° 07' 16,1" W	39° 49' 24,5" N	3 m	R 70/500 mm	Webcam ToUCam	Ordenador	DCF (3)
5 Carles Schnabel	0° 06' 28,4" W	39° 50' 00,7" N	3 m	R 60/700 mm	Webcam ToUCam	Ordenador	DCF (3)

(1). Ayudantes: 0: Óscar Gómez, Júlia Dalmau, M. Jesús Marlasca, Marta Selva, Adrià Selva. 1: Ana Bergés, Carmen Romeo. 2: Rodolfo Pérez de Paula. 3: Lluís Xifra, Arnau Rovira, Martí Pintó, Puri Cano. 4: Gemma Colomé, Laura López, Eduard López. 5: Mario A, Fernández, (2). Datum WGS84.

(3). Manualmente, pre y postregistro.

Equipos de observación eclipse total 1 de agosto 2008

Observadores (1)	Longitud (2)	Latitud (2)	Altitud	Óptica	Cámara	Inserción de tiempo	Referencia del tiempo
2 Antoni Selva	81° 02' 20,5" E	54° 22' 18,5" N	194 m	Mak 100/1.000 mm	Míntron 12V1EX (3)	KIWI	GPS
3 Carles Schnabel	81° 01' 45,0" E	54° 22' 13,0" N	191 m	Mak 100/1.000 mm	Míntron 12V1EX (3)	KIWI	GPS

(1). Ayudantes: 2: M. Jesús Marlasca, Montserrat Parellada. 3: Mario A. Fernández, Àngel Massallé.

(2). Datum WGS84.

(3). Filtro polarizador variable.

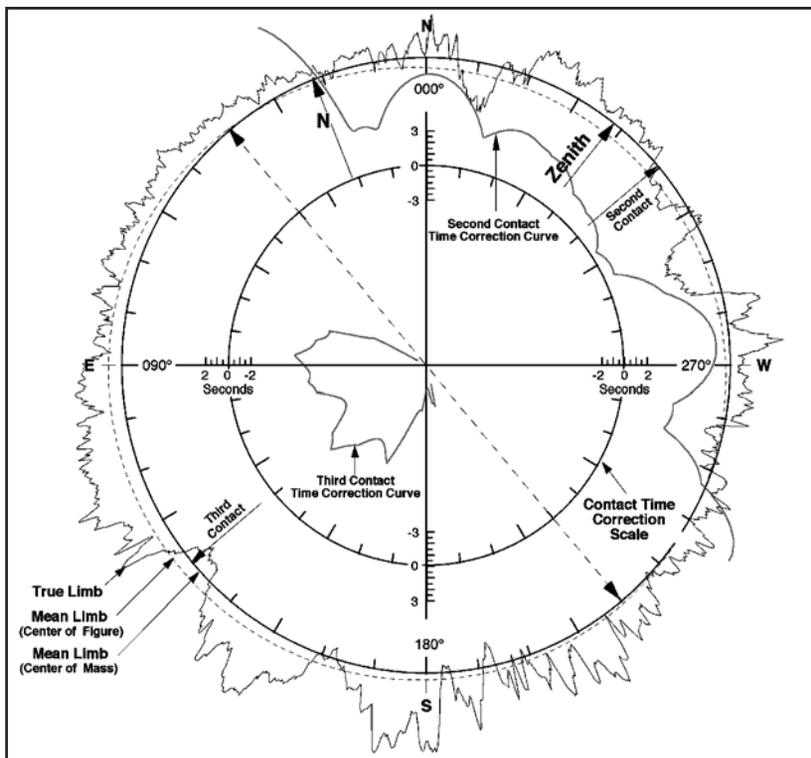


Figura 3. Perfil previsto de la Luna para el eclipse anular del 3 de octubre de 2005, según F. Espenak.

diferentes. Por otra parte, las referencias temporales se tomaron, en el caso de las webcam, mediante métodos diversos. Solamente el equipo 2, de Óscar Canales, utilizó un sistema que podríamos considerar de referencia: videocámara de vigilancia de salida analógica PAL en blanco y negro, de 25 imágenes por segundo o 50 campos por segundo. El tiempo se insertó en cada campo mediante el dispositivo diseñado a tal efecto conocido como KIWI.

Tal heterogeneidad en los sistemas de registro condujo a un análisis muy dificultoso; hubo equipos que sobreexpusieron las perlas, mientras que a otros les sucedía lo contrario. Las diferentes ampliaciones focales usadas dificultaron no solamente la determinación de los tiempos, sino también la propia identificación de las perlas con respecto al perfil lunar previsto (figura 3). En la tabla 2 se facilitan los resultados de cada equipo.

Tabla 2. Eclipse anular 3 octubre 2005. Datos de las perlas observadas

EQUIPO 0		Appley - Morrison				
Contacto	WA	TU observado	TU esperado	Delta R (")	TU esperado	Delta R (")
R1	215,4	09:00:48.6	09:00:49.2	0,06	09:00:51.7	0,34
R2	218,5	09:00:47.8	09:00:46.4	-0,18	09:00:48.5	0,10
R3	221,0	09:00:50.6	09:00:51.7	0,15	09:00:53.6	0,44
R4	221,6	09:00:51.6	09:00:51.9	0,04	09:00:53.6	0,32
R5	222,7	09:00:54.4	09:00:54.3	-0,02	09:00:56.2	0,26
R6	224,6	09:00:51.9	09:00:51.5	-0,02	09:00:53.4	0,22
R7	231,4	09:00:47.3	09:00:45.4	-0,38	09:00:46.9	-0,11
R8	235,7	09:00:45.1	09:00:43.3	-0,41	09:00:44.5	-0,15
R9	243,2	09:00:44.6	09:00:43.5	-0,29	09:00:44.4	-0,05
D1	146,6	09:02:56.7	09:02:57.9	-0,34	09:02:57.7	-0,27
D2	148,6	09:02:51.6	09:02:52.7	-0,29	09:02:52.4	-0,22
D3	151,7	09:02:43.8	09:02:45.6	-0,46	09:02:45.3	-0,39
D4	154,3	09:02:42.2	09:02:43.7	-0,39	09:02:43.4	-0,30
D5	155,9	09:02:43.8	09:02:45.7	-0,46	09:02:45.3	-0,38
D6	158,4	09:02:35.6	09:02:38.2	-0,61	09:02:37.8	-0,51
D7	161,7	09:02:48.7	09:02:50.1	-0,29	09:02:50.5	-0,18
D8	162,7	09:02:48.6	09:02:49.6	-0,21	09:02:49.5	-0,10
D9	164,0	09:02:43.4	09:02:44.4	-0,21	09:02:43.9	-0,10
D10	166,0	09:02:39.3	09:02:40.6	-0,29	09:02:40.2	-0,17
D11	170,7	09:02:49.3	09:02:51.4	-0,40	09:02:50.8	-0,26
D12	173,5	09:02:42.0	09:02:43.4	-0,23	09:02:42.5	-0,08
D13	175,0	09:02:45.9	09:02:47.4	-0,23	09:02:46.4	-0,08
D14	176,8	09:02:47.7	09:02:49.0	-0,19	09:02:47.9	-0,03
D15	177,7	09:02:45.8	09:02:45.2	0,09	09:02:43.9	0,25
D16	181,4	09:02:47.8	09:02:49.0	-0,13	09:02:47.4	0,04
D17	186,2	09:02:55.6	09:02:58.0	-0,22	09:02:55.8	-0,02
D18	189,0	09:02:51.2	09:02:52.9	-0,13	09:02:50.0	0,08
D19	190,3	09:02:46.9	09:02:45.3	0,09	09:02:41.9	0,31
D20	192,3	09:03:04.8	09:03:04.1	0,03	09:02:59.9	0,25
			Meda	-0,20		-0,03
			Meda	-0,05		0,17
EQUIPO 1		Appley - Morrison				
Contacto	WA	UT observado	UT esperado	Delta R (")	UT esperado	Delta R (")
R1	204,0	09:00:42.0	09:00:39.1	-0,12	09:00:45.0	0,14
R2	236,0	09:00:54.1	09:00:53.7	-0,10	09:00:54.9	0,16
R3	210,6	09:01:05.8	09:01:04.1	-0,13	09:01:07.7	0,15
R4	218,6	09:01:07.5	09:01:06.9	-0,08	09:01:09.2	0,21
R5	224,5	09:01:06.2	09:01:07.3	0,18	09:01:09.1	0,46
R6	221,7	09:01:08.6	09:01:09.4	0,11	09:01:11.4	0,39
R7	212,6	09:01:09.1	09:01:11.4	0,21	09:01:14.5	0,49
R8	215,6	09:01:11.6	09:01:13.6	0,21	09:01:16.2	0,49
D1	192,2	09:02:13.8	09:02:09.2	0,21	09:02:04.2	0,43
D2	188,8	09:02:18.7	09:02:15.1	0,24	09:02:12.1	0,45
D3	181,5	09:02:28.2	09:02:26.8	0,16	09:02:25.3	0,34
D4	186,0	09:02:29.2	09:02:28.1	0,10	09:02:25.8	0,30
D5	173,6	09:02:29.8	09:02:28.7	0,18	09:02:27.8	0,33
D6	177,0	09:02:33.0	09:02:31.6	0,20	09:02:30.5	0,36
D7	174,8	09:02:33.9	09:02:31.3	0,41	09:02:30.3	0,56
D8	156,0	09:02:38.8	09:02:38.1	0,20	09:02:37.7	0,29
D9	170,6	09:02:39.4	09:02:38.6	0,15	09:02:37.9	0,28
D10	161,6	09:02:41.8	09:02:41.1	0,18	09:02:40.6	0,28
D11	140,2	09:03:04.3	09:03:04.4	-0,03	09:03:04.2	0,04
D12	137,6	09:03:06.3	09:03:06.1	0,09	09:03:05.9	0,15
D13	129,5	09:03:11.8	09:03:11.4	0,13	09:03:11.3	0,18
D14	121,6	09:03:26.1	09:03:25.3	0,29	09:03:25.2	0,36
			Meda	0,13		0,31
			Meda	0,09		0,33

EQUIPO 2					Appleby - Morrison	
Contacto	WA	TU observado	TU esperado	Delta R (")	TU esperado	Delta R (")
R1	198,2	08:59:42.9	08:59:42.9	0,00	08:59:42.6	-0,12
R2	199,8	09:00:05.5	09:00:14.4	0,19	09:00:27.3	0,44
R3	204,9	09:00:48.1	09:00:51.8	0,17	09:00:57.6	0,43
R4	203,7	09:00:50.8	09:00:53.9	0,12	09:01:00.9	0,38
R5	206,3	09:00:58.4	09:01:00.8	0,13	09:01:05.9	0,39
R6	202,5	09:01:00.0	09:01:10.0	0,29	09:01:19.4	0,55
R7	218,4	09:01:09.4	09:01:11.4	0,25	09:01:13.7	0,54
R8	210,5	09:01:09.6	09:01:11.6	0,15	09:01:15.2	0,43
R9	212,7	09:01:10.1	09:01:17.8	0,69	09:01:21.0	0,97
R10	215,5	09:01:15.0	09:01:21.6	0,70	09:01:21.6	0,70
D1	190,2	09:01:53.4	09:01:50.5	0,16	09:01:46.6	0,37
D2	192,3	09:02:03.0	09:01:56.7	0,27	09:01:51.5	0,49
D3	188,1	09:02:09.4	09:02:06.9	0,17	09:02:04.1	0,38
D4	186,6	09:02:22.4	09:02:22.2	0,02	09:02:19.9	0,21
D5	181,2	09:02:22.0	09:02:22.8	-0,08	09:02:21.2	0,10
D6	174,9	09:02:28.1	09:02:28.6	-0,09	09:02:27.7	0,07
D7	176,9	09:02:28.1	09:02:28.4	-0,05	09:02:27.3	0,12
D8	170,5	09:02:35.4	09:02:36.2	-0,14	09:02:35.5	-0,01
D9	155,8	09:02:36.7	09:02:36.9	-0,05	09:02:36.6	0,05
D10	161,4	09:02:39.0	09:02:39.2	-0,04	09:02:38.8	0,07
D11	194,2	09:02:51.0	09:02:49.8	0,05	09:02:43.7	0,28
D12	196,1	09:03:04.1	09:02:55.7	0,24	09:02:46.9	0,48
D13	198,9	09:03:36.7	09:03:31.7	0,09	09:03:14.6	0,33
			Meda	0,14		0,33
			Meda	0,20		0,41
EQUIPO 3					Appleby - Morrison	
Contacto	WA	TU observado	TU esperado	Delta R (")	TU esperado	Delta R (")
D1	181,2	09h:02:18.4	9h:02:18.6	-0,03	9h:02:17.0	0,15
D2	177,6	09h:02:19.7	9h:02:20.2	-0,08	9h:02:19.0	0,09
D3	172,0	09h:02:21.8				
D4	167,8	09h:02:23.2	9h:02:22.9	0,05	9h:02:22.2	0,18
D5	173,5	09h:02:23.8	9h:02:23.1	0,11	9h:02:22.1	0,25
D6	176,9	09h:02:23.8	9h:02:25.2	0,10	9h:02:24.1	0,26
D7	175,0	09h:02:26.4	9h:02:25.8	0,09	9h:02:24.8	0,24
D8	168,9	09h:02:26.3				
D9	166,0	09h:02:26.6	9h:02:26.0	0,16	9h:02:25.4	0,27
D10	169,5	09h:02:30.9	9h:02:30.4	0,08	9h:02:29.7	0,21
D11	164,1	09h:02:32.0	9h:02:30.7	0,27	9h:02:30.1	0,38
D12	170,5	09h:02:33.8	9h:02:33.9	0,02	9h:02:33.1	0,15
D13	162,7	09h:02:37.1	9h:02:36.7	0,08	9h:02:36.7	0,19
D14	161,5	09h:02:37.7	9h:02:37.6	0,00	9h:02:37.1	0,11
			Meda	0,07		0,21
			Meda	-0,06		0,12
EQUIPO 4					Appleby - Morrison	
Contacto	WA	TU observado	TU esperado	Delta R (")	TU esperado	Delta R (")
D1		9:01:31.9				
D2		9:01:44.2				
D3		9:01:53.5				
D4		9:01:53.7				
D5		9:02:08.9				
D6		9:02:19.6				
D7		9:02:21.8				
D8		9:02:21.8				
D9		9:02:31.8				
D10		9:02:36.9				
D11		9:02:53.9				
D12		9:03:14.0				
D13		9:04:13.6				

EQUIPO 5					Appleby - Morrison	
Contacto	WA	TU observado	TU esperado	Delta R (")	TU esperado	Delta R (")
D1	192,3	09:01:08.5	09:01:13.5	- 0,18	09:01:07.2	0,04
R1	228,6	09:01:13.4	09:01:11.9	- 0,17	09:01:13.4	0,00
D2	196,1	09:01:18.8	09:01:36.0	- 0,25	09:01:18.8	0,00
R2	102,5	09:04:06.2	09:04:04.9	0,51	09:04:04.6	0,60
R3	100,1	09:04:13.1	09:04:12.0	0,42	09:04:11.7	0,51
R4	95,3	09:04:22.4	09:04:21.7	0,23	09:04:21.5	0,33
R5	92,9	09:04:27.1	09:04:26.3	0,28	09:04:26.0	0,39
			Media	0,12		0,27
			Media	- 0,21		0,02

En conjunto, son coherentes entre sí y con los obtenidos por equipos alemanes de la IOTA/ES en Túnez, tanto en los límites norte como en el sur. En territorio español también se intentó la obtención de registros en el límite sur por parte de equipos checos y alemanes (Jan Manek, Otto Farago, Andreas Eberle y Wolfgang Strickling), pero las nubes, prácticamente las únicas en toda la Península ibérica, malograron el proyecto.

Observación del eclipse total del 1 de agosto de 2008 desde Proletarsky (Siberia Occidental - Federación Rusa)

De los resultados del eclipse anular de 2005 se dedujo que en la próxima ocasión deberían unificarse al máximo los métodos de registro. Se aprovecharon los dos encuentros anuales de la IOTA europea en 2006 y 2007 para coordinar los esfuerzos entre equipos españoles y alemanes de cara al eclipse total de 2008.

En el ESOP (Simposio Europeo de Ocultaciones), celebrado en Stara Lesna, Eslovaquia, en agosto de 2007, tras una discusión abierta por Konrad Guhl, se consensuaron las siguientes propuestas de cara al próximo fenómeno:

- La utilización de telescopios de las mismas características ópticas en todas las estaciones. Se optó por objetivos fotográficos Maksutov de 10 cm de apertura y 100 cm de distancia focal.
- La utilización del mismo tipo de filtro solar de apertura total: las láminas Maksutov originales de vidrio tintadas en verde y aluminizadas ex profeso. En la figura 4 se muestra la curva de densidad óptica de este filtro.
- La utilización de un filtro polarizador regulable para permitir el paso de más o menos luz dependiendo de la transparencia atmosférica.
- Cámaras Mintron y Watec de registro de vídeo.

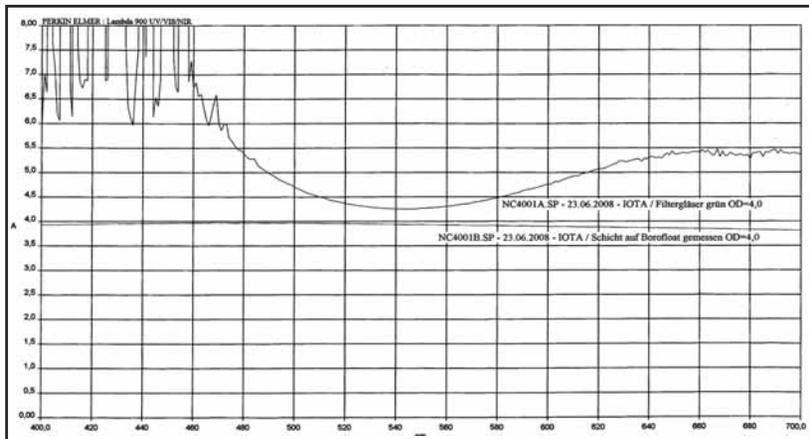


Figura 4. Curva de densidad óptica de los filtros empleados en los objetivos Maksutov.

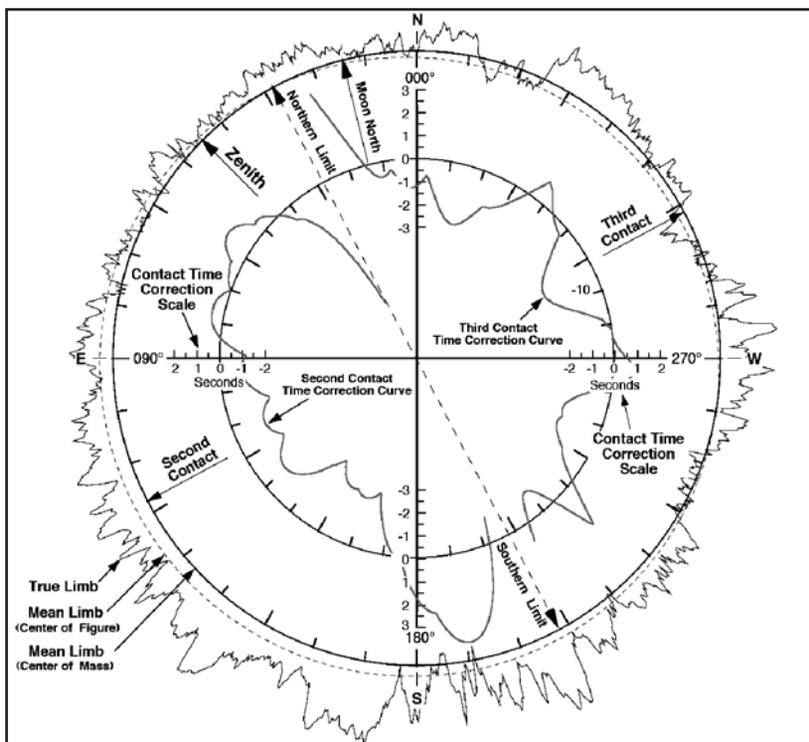


Figura 5. Perfil previsto de la Luna para el eclipse del 1 de agosto de 2008, según F. Espenak.



Figura 6. Eclipse total, 1 de agosto de 2008. Josep Arisa asistiendo a Carles Schnabel en la puesta a punto del instrumental en la estación 3. Foto Mario A. Fernández.

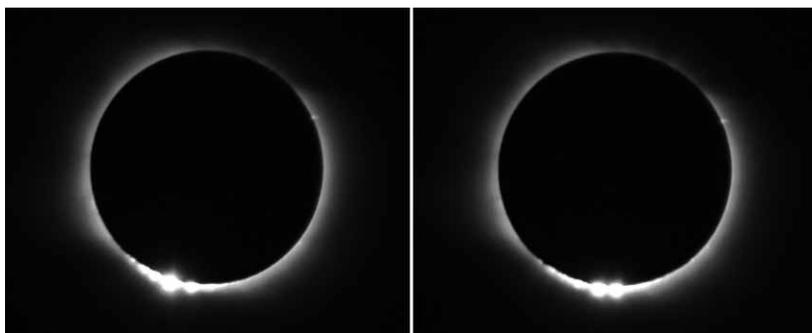


Figura 7. Eclipse total, 1 de agosto de 2008. Imágenes obtenidas en la estación 2 por Antoni Selva durante la fase máxima. Nótese como mientras unas perlas desaparecen, aparecen simultáneamente otras por la derecha de las anteriores. Cámara Canon EOS 400D sin filtro.

- Insertadores de tiempo de señal GPS en los campos.

Por otra parte, también se convinieron los siguientes aspectos en cuanto al análisis conjunto de las perlas de Bailly:

- Limitar el análisis de las perlas solamente a las situadas 20 grados a ambos lados del contacto central.
- Limitar el análisis a perlas correspondientes a valles lunares bien caracterizados.

Tabla 3. Eclipse total 1 agosto 2008. Datos de las perlas observadas

EQUIPO 2						
Análisis visual a partir del registro de vídeo					Appleby - Morrison	
Contacto	WA	TU observado	TU esperado	Delta R (")	TU esperado	Delta R (")
D1	143,0	10:45:14	10:45:13	0,54		0,75
D2	153,8	10:45:17	10:45:17	-0,07		0,20
D3	147,6	10:45:18	10:45:16	0,53		0,76
D4	145,5	10:45:18	10:45:16	0,51		0,73
D5	156,2	10:45:18	10:45:17	0,11		0,42
D6	157,8	10:45:19	10:45:18	0,31		0,59
R1	196,0	10:45:21	10:45:34	0,28		0,78
D7	165,8	10:45:27	10:45:25	0,13		0,46
D8	167,0	10:45:28	10:45:29	-0,52		-0,19
D9	163,0	10:45:32	10:45:31	-0,04		0,27
D10	173,5	10:45:36	10:45:34	0,37		0,74
R2	197,2	10:45:37	10:45:55	0,50		1,00
D11	175,3	10:45:43	10:45:40	0,16		0,53
D12	188,1	10:45:43	10:45:27	0,41		0,84
D13	171,2	10:45:44	10:45:41	0,38		0,72
D14	181,4	10:45:45	10:45:38	0,42		0,82
D15	177,0	10:45:45	10:45:44	-0,22		0,17
R3	205,2	10:45:49	10:45:53	-0,09		0,42
D16	186,0	10:45:56	10:45:41	0,88		1,31
R4	211,5	10:46:00	10:46:03	0,00		0,51
R5	214,8	10:46:02	10:46:05	-0,11		0,41
R6	217,0	10:46:03	10:46:04	-0,21		0,32
R7	199,4	10:46:03	10:46:21	0,26		0,75
			Meda	0,20		0,58
			Meda	0,24		0,69

Análisis fotométrico con LiMovie				Appleby - Morrison	
Contacto	WA	UT observado	Delta R (")	Delta R (")	
D1	143,0	10:45:14	0,37	0,58	
D2	153,8	10:45:18	0,20	0,47	
D3	147,6	10:45:17	0,38	0,61	
D4	145,5	10:45:17	0,12	0,34	
D5	156,2	10:45:17	-0,34	-0,06	
D6	157,8	10:45:17	-0,19	0,09	
R1	196,0	10:45:32	0,03	0,51	
D7	165,8	10:45:27	0,08	0,41	
D8	167,0	10:45:28	-0,43	-0,10	
D9	163,0	10:45:32	-0,13	0,18	
D10	173,5	10:45:36	0,43	0,79	
D11	178,0	10:45:36	-0,48	-0,09	
D12	179,0	10:45:38	0,27	0,67	
R2	197,2	10:45:43	0,34	0,82	
D13	175,3	10:45:42	0,05	0,43	
D14	188,1	10:45:40	0,25	0,69	
D15	171,2	10:45:42	0,03	0,39	
D16	181,4	10:45:43	0,24	0,65	
D17	177,0	10:45:45	-0,17	0,21	
R3	205,2	10:45:50	-0,17	0,34	
D18	186,0	10:45:53	0,70	1,13	
R4	211,5	10:46:00	-0,01	0,51	
R5	210,0	10:46:02	-0,16	0,36	
R6	214,8	10:46:03	-0,30	0,23	
R7	217,0	10:46:04	-0,37	0,15	
R8	199,4	10:46:08	0,08	0,57	
			0,03	0,42	
			0,07	0,52	

EQUIPO 3						
Análisis visual a partir del registro de vídeo					Appleby - Morrison	
Contacto	WA	TU observado	TU esperado	Delta R (")	TU esperado	Delta R (")
D1	139,9	10:45:11	10:45:11	-0,22		-0,02
D2	142,0	10:45:13	10:45:12	0,02		0,23
D3	147,6	10:45:16	10:45:15	0,04		0,23
D4	156,1	10:45:18	10:45:17	-0,12		0,13
D5	165,8	10:45:26	10:45:25	-0,21		0,11
D6	167,0	10:45:27	10:45:29	-0,76		-0,43
D7	163,0	10:45:31	10:45:31	-0,41		-0,10
D8	188,1	10:45:39	10:45:29	0,05		0,49
D9	175,3	10:45:41	10:45:39	-0,22		0,16
D10	181,4	10:45:41	10:45:36	-0,02		0,39
D11	171,3	10:45:42	10:45:40	-0,19		0,16
D12	177,0	10:45:44	10:45:43	-0,47		-0,09
D13	184,5	10:45:52	10:45:42	0,48		0,90
R1	196,0	10:45:33	10:46:02	-0,11		0,36
R2	197,3	10:45:44	10:46:12	0,18		0,66
R3	199,4	10:46:08	-	-0,06		0,43
R4	226,2	10:46:09	10:46:08	-0,82		-0,30
R5	230,0	10:46:11	10:46:10	-0,92		-0,40
R6	234,4	10:46:14	10:46:14	-0,59		-0,08
R7	246,2	10:46:24	10:46:25	-0,05		0,42
			Meda	-0,22		0,16
			Meda	-0,02		0,41

R3 corresponde a una perla no prevista por Occult

Finalmente, pudieron establecerse sobre el terreno seis equipos, tres alemanes en el límite norte (Espenak & Anderson 2007), y otros tres (uno alemán y nuestros dos españoles) en el sur. Véase en la tabla 1 la composición de los equipos. De hecho, estaba previsto que la Agrupación Astronómica de Sabadell participara con tres estaciones, pero problemas en uno de los sistemas ópticos y en las monturas obligaron a concentrar los esfuerzos en dos. Uno se colocó a 200 metros y el otro a 700 metros por el interior del límite sur. A 1.200 metros se instaló el equipo de Wolfgang Rothe, de la IOTA/ES. Véase en la figura 5 el perfil lunar previsto.

A pesar de las dificultades técnicas, pero ayudados por unas excelentes condiciones atmosféricas, pudo obtenerse una buena cantidad de datos (figuras 6 y 7, y tabla 3). La buena calidad del vídeo obtenido por Antoni Selva, permitió incluso un análisis fotométrico de las perlas mediante el programa LiMovie desarrollado por Kazuhisa Miyashita (figura 8). No obstante, los diferentes grados de saturación en las imágenes de los dos vídeos han provocado diferencias difíciles de homogeneizar, aún a pesar de la utilización del análisis fotométrico en el registro de la estación número 2. Y es que este tipo de análisis no pudo realizarse para el registro de la estación 3 debido a las fuertes oscilaciones en la imagen, consecuencia de un seguimiento manual muy grosero.

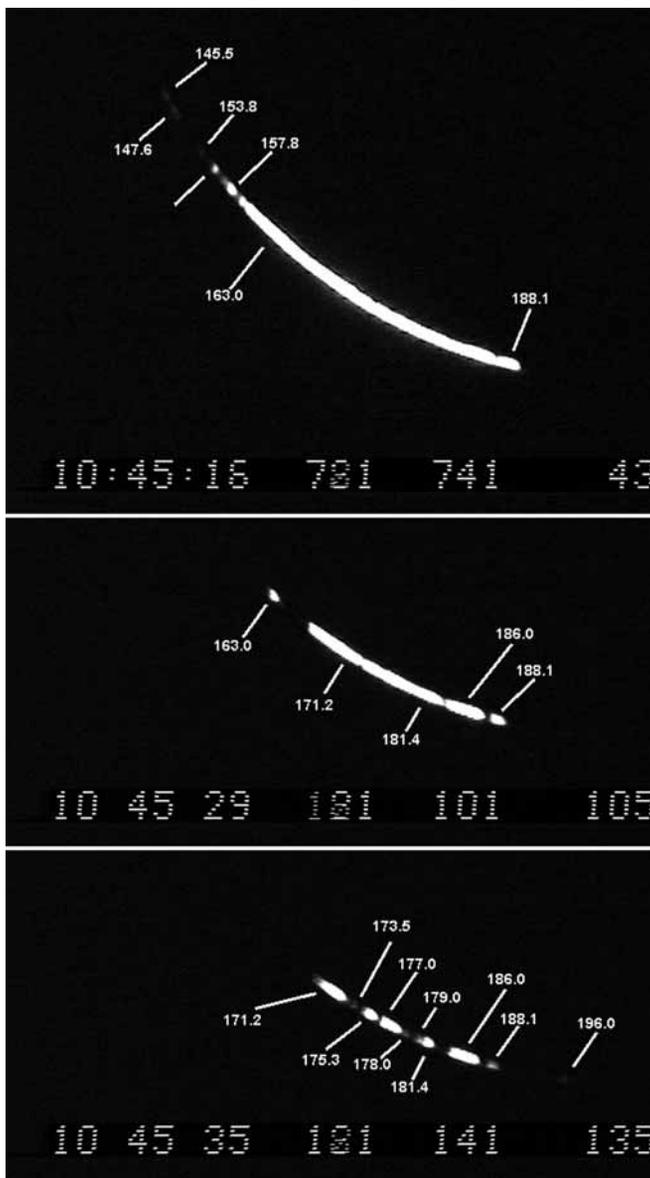


Figura 8. Eclipse total, 1 de agosto de 2008. Fotogramas del registro de vídeo obtenido a través del objetivo Maksutov en la estación 2. Los números identifican los ángulos de Watts (WA) de cada perla.

Interpretación de las tablas de resultados y conclusiones

La lectura de los datos obtenidos (tablas 1 y 2) sirve también para explicar con cierto detalle el procedimiento de análisis. Cada fila representa la desaparición (D) o reaparición (R) de una perla de Baily en un ángulo determinado (WA) de limbo lunar. Este ángulo WA es el ángulo de Watts, un ángulo de posición referido al eje de rotación de la Luna, y al cual están referidas las correcciones de Watts del perfil lunar. Estas correcciones dan las diferencias en segundos de arco entre el perfil teórico lunar sin relieve y el perfil «real» determinado a partir de una campaña de observaciones fotográficas realizadas entre 1927 y 1956 en observatorios de Washington, Johannesburg y Flagstaff, dirigida por Chester B. Watts, del Observatorio Naval de los Estados Unidos, y publicado en 1963 como *Cartas de Watts*.

El primer trabajo consiste en identificar la desaparición (D) o reaparición (R) de una perla tanto en el tiempo como en WA. Estos son los valores que aparecen en las tres primeras columnas. A continuación, en la cuarta columna, se determina para aquel WA el tiempo esperado de D o R con ayuda de la rutina de análisis de perlas contenida en el programa informático Occult. Finalmente, fijando el tiempo en el valor observado, se va ajustando el radio del limbo solar hasta conseguir hacer desaparecer o aparecer la perla correspondiente. Es decir, se hacen coincidir el limbo lunar con el limbo solar convenientemente aumentado o disminuido. Este valor de variación del radio solar, expresado en segundos de arco, es el que aparece en la quinta columna. Es positivo si corresponde a un aumento del radio solar, y negativo si corresponde a una disminución.

Estas variaciones del radio solar se determinan independientemente para cada perla de Baily. La dispersión en los datos es, como se ve, bastante elevada, pero tiende a disminuir cerca del WA correspondiente al punto de tangencia norte o sur de ambos limbos. Así, en el caso del eclipse anular, con un valor de WA en el límite norte de 198°, son los valores de WA entre 178° y 218° (remarcados sobre fondo gris) los que, en principio, estarían sometidos a una menor dispersión. De todas formas, tal como se comentaba más arriba, se evidencian valles lunares que provocan la formación de perlas con una gran anomalía temporal, con ΔR mayores de 0,3 segundos de arco. Sería necesaria la comparación de estos registros con otros obtenidos en otras expediciones, incluso pertenecientes a otros eclipses para decidir

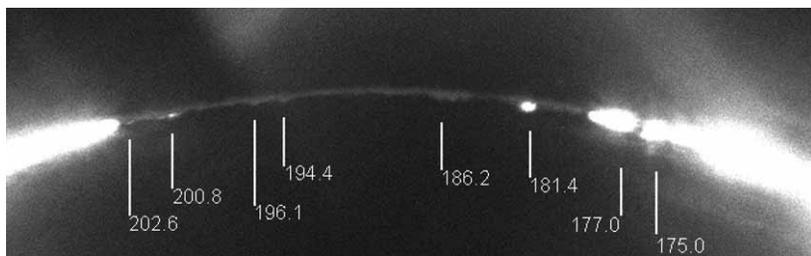


Figura 9. Eclipse anular, 3 octubre de 2005. Fotografía de la cromosfera obtenida a las 9 h 2 m 10,0 s UT durante el máximo, tal como se explica en el texto. Foto de Carles Schnabel.

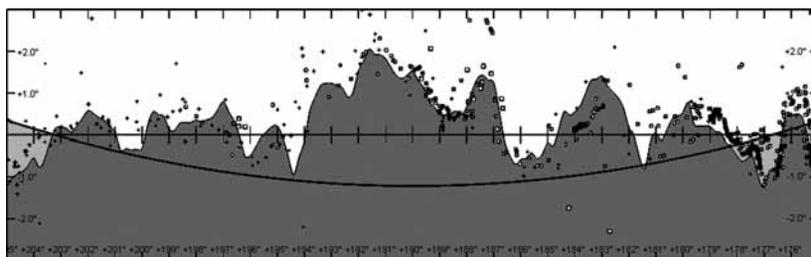


Figura 10. Perfil lunar y posición del limbo solar en el momento de la fotografía anterior. Se ha aumentado el radio solar 0,2'' para hacer coincidir el gráfico con la fotografía. La línea curva que corta el perfil lunar en ambos extremos del gráfico, representa el limbo de la fotosfera solar. Se marcan en gris las regiones del Sol no eclipsadas. Los puntos que siguen sensiblemente el perfil de Watts son observaciones individuales de ocultaciones de estrellas.

la inclusión o no de estos puntos en el análisis final. También puede ser útil en este sentido la comparación con datos obtenidos en ocultaciones rasantes de estrellas con similares condiciones libratorias. En el caso del eclipse total, el WA en el límite sur tenía un valor de 194°, por lo que es recomendable usar preferentemente las perlas registradas en el arco de WA situado entre 174° y 214°.

La buena calidad del registro llevado a cabo por Antoni Selva en la estación 2 de Siberia permitió un re-análisis fotométrico de cada una de las perlas mediante la aplicación informática LiMovie. Los valores determinados de esta manera se muestran en la tabla 3 debajo de los valores determinados visualmente. En algunos casos las diferencias entre los dos métodos son notables. De todas formas, esto no quiere decir que debemos desechar automáticamente las valoraciones obtenidas del análisis visual del vídeo, ya que la curva fotométrica de cada perla, obtenida con LiMovie

tampoco es determinante. No deja de ser un trabajo de estimación visual el establecimiento de la inflexión en la curva fotométrica que marca la aparición o la desaparición de una perla. Este problema queda muy bien reflejado en la fotografía de la figura 9, obtenida mediante una cámara réflex cargada con diapositiva a foco primario de un reflector Newton de 114 mm de abertura y 1.000 mm de distancia focal durante la fase máxima del eclipse del 3 de octubre de 2005, en la estación 5. No se utilizó filtro alguno, lo que permitió registrar sin ningún problema la cromosfera de marcado color rojo. Si se observa atentamente la imagen, se verá que sobre la cromosfera se recorta claramente el relieve lunar, identificado en el gráfico (figura 10) gracias al ángulo de Watts de determinados valles. Los valles que no llegan a tener la profundidad suficiente no permiten la formación de perlas de Baily, pero muestran el cambio de color que en la base de la cromosfera da paso a la fotosfera. Se ve claramente que el límite entre una capa y otra no es totalmente definido, lo que seguramente da lugar a la falta de definición observada en la formación o disolución de una perla.

Por otra parte, téngase en cuenta que diferentes métodos de registro profundizan más o menos en este límite entre fotosfera y cromosfera. Así, en el caso de algunos de los registros obtenidos en el eclipse anular, las webcam todavía mostraban la cromosfera a través de los filtros solares una vez desaparecida la perla. El interés por suprimir esta interferencia producida por la cromosfera es la que aconsejó para futuros eclipses la utilización de un filtro verde como base para el filtro solar.

Evidentemente, diferencias en los parámetros de registro de las cámaras introducen variaciones difíciles de normalizar, y esto conduce a un análisis muy laborioso y que siempre acaba siendo parcial a pesar de que tiendan a unificarse al máximo los sistemas de obtención de imágenes. Por ello se encontró muy interesante una propuesta lanzada por David Dunham, pocas semanas antes de la observación en Siberia. Esta propuesta consistía en registrar mediante cámaras de vídeo domésticas sin filtro el máximo del eclipse desde las mismas estaciones situadas en el límite. De esta manera, se obtendría un documento que permitiría una calibración de observaciones antiguas realizadas visualmente con respecto a las observaciones modernas de las perlas de Baily. En la estación 3 de nuestra expedición, Àngel Massallé obtuvo un magnífico registro de vídeo que muestra con total claridad la progresión de las perlas que no llegaron a desaparecer en ningún momento. Este documento, tiene,

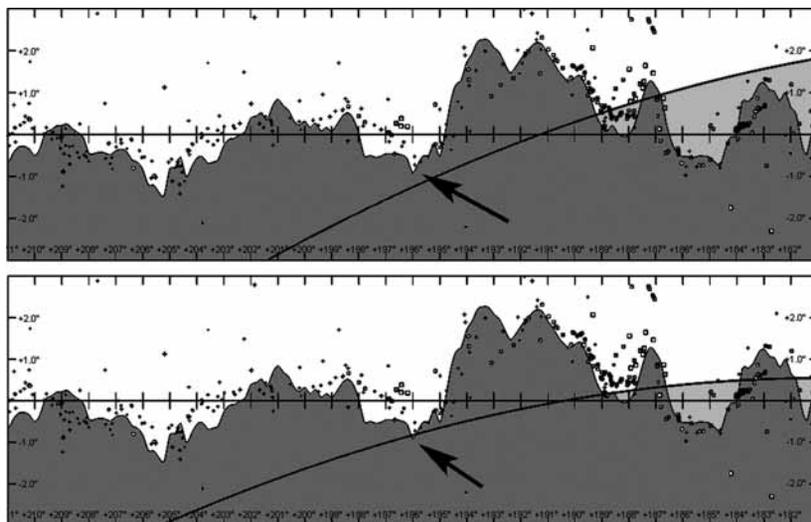


Figura 11. Eclipse total de 1 de agosto de 2008. Gráficos del perfil centrados ambos sobre el mismo ángulo de Watts ($WA = 196$), destacando la reaparición de la misma perla. **Arriba:** R1 en la estación 2, que supone un ΔR de $+0,28$ o $+0,03$. **Abajo:** R1 en la estación 3, que supone un ΔR de $-0,11$.

sin duda, un gran valor para el análisis de observaciones históricas.

Cabe discutir los distintos valores determinados para las diferencias en el radio solar, ΔR . Como puede comprobarse tras una rápida inspección de las tablas 2 y 3, estos valores están sujetos a una gran dispersión, que se acota ligeramente si aplicamos el criterio de selección que considera solamente las perlas a menos de 20° por ambos lados del ángulo de Watts central. También se evidencia que los valores más moderados de ΔR se obtienen considerando el perfil lunar no corregido por Appleby-Morrison, por lo que éstos son los que se estiman más correctos. De todas formas, si nos limitamos a los registros de mayor calidad y a los obtenidos en las estaciones situadas en los lugares idóneos, deberemos seleccionar los equipos 1 (Oscar Canales) y 2 (Carlos Perelló) del eclipse anular, y el equipo 2 (Antoni Selva) del eclipse total. En todos estos casos, los resultados finales muestran valores positivos situados en torno a los 0,15 segundos de arco positivos, valor alrededor del cual se vienen acumulando los datos procedentes de anteriores campañas y también de estos mismos eclipses obtenidos por otros equipos (figura 11).

Este valor no deja de ser una estimación muy aproximada, afectada por una gran imprecisión. Se puede decir que la experiencia más valiosa acumulada en estas dos campañas en las que ha participado el Grupo de Ocultaciones de la Agrupación Astronómica de Sabadell ha sido el desarrollo de la práctica observacional y la delimitación de los factores de error. Con nuestra experiencia estamos seguros de que hemos colaborado a conocer con más detalle los factores limitantes en la observación de las perlas de Baily y su posible utilización como medio para precisar mejor el diámetro solar (Sigismondi & Oliva 2006, Rozelot et al. 2008; Espenak & Anderson 2007).

Nuestras observaciones serán publicadas en breve por la IOTA (Andersson et al., en preparación), conjuntamente con las de otras campañas internacionales, por lo que estos datos pasarán a formar parte de una base sobre la cual podrán realizarse en el próximo futuro estudios a gran escala temporal.

Agradecimientos

Eclipse anular del 3 de octubre de 2005

A Jordi Artés, director del Planetario de Castelló, y a Octavio Velasco y Juan Vicente Pérez, responsables del Centro Los Molinos, de la CAM, en Crevillente, por facilitarnos sus respectivas instalaciones como lugares de encuentro para la organización de los equipos en los límites norte y sur.

A los familiares, compañeros y profesores acompañantes de los grupos escolares: Carme Alemany, Josep Arisa, Eloi Arisa, Santi Gutiérrez, Mercè Mas, Montserrat Parellada, Carme Sanz, Rossend Tobella y Mercè Viñas.

Eclipse total del 1 de agosto de 2008

A Sven Andersson, Hans Joachim Bode, Alfons Gabel, Konrad Guhl, Martina Hauptmann, Wolfgang Rothe, pertenecientes a la IOTA/ES, compañeros en la organización del viaje a Siberia y en el análisis de las observaciones.

A Wolfgang Beisker, Otto Farago y Andreas Tegtmeier, de la IOTA/ES por habernos prestado los tres objetivos Maksutov para nuestros equipos.

A los familiares y compañeros de los observadores, quienes ofrecieron su soporte no solamente el día del eclipse, sino también en la organización de la expedición: Carme Alemany, Josep Arisa, Joan Bel, Ester Chesa, María Jesús Marlasca, Montserrat Parellada, Martí Schnabel, Marta Selva y Adrià Selva.

A Dimitri Petrov y Alla Petrova por su personal e inestimable ayuda

en la búsqueda de alojamiento y contactos científicos en Novosibirsk y Akademgorodok.

A Vladimir Pupyshev, del consulado general de la Federación Rusa en Barcelona, por su decidido soporte en los trámites y el establecimiento de contactos oficiales en Novosibirsk.

Bibliografía

1. Andersson, S., Canales, O., Colona, P., Fernández, M.A., Guhl, K. et al. Atlas of Bailys beads observation 2005, 2006 and 2008. *Solar Physics*, en preparación.
2. Brown, T.M. & Christensen-Dalsgaard, J. Accurate determination of the solar photospheric radius, *Astrophysical Journal*, 500 (1998).
3. Dunham et al. *Science*, 210, 1243-1243 (1980).
4. Dunham, D., Thompson, J., Sofia, S., Herald, D., Buechner R. et al. Accuracy of Solar Radius Determinations from Solar Eclipse Observations, and Comparison with SOHO Data 2005. *SORCE Science Meeting*, Septiembre 14-16, Durango, Colorado (2005).
5. Espenak, F. & Anderson, J. NASA/GSFC report Annular Eclipse of 2005 October 03 (2005).
6. Espenak, F. & Anderson, J. NASA/TP-2007-214149, Total Solar Eclipse of 2008 August 01 (2007).
7. Fiala A., Dunham, D. & Sofia S. *Solar Physics*, 152, 97-104 (1994).
8. Herald, D. <http://www.lunar-occultations.com/iota/occult4.htm> (2008).
9. Kubo, Y. Position and Radius of the Sun Determined by Solar Eclipses in Combination with Lunar Occultations, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 45, 819-829 (1993).
10. Kuhn, J.R., Bush, R.I., Emilio, M. & Scherrer, P.H. On the constancy of the solar diameter II, *The Astrophysical Journal*, 613:1241-1252 (2004).
11. Laclare, F., Delmas, C, Coin, J.P. & Irbah, A. Measurements and variations of the solar diameter, *Solar Physics* 166, 211-229 (1996).
12. Li, L.H. & Sofia, S. Measurements of solar irradiance and effective temperature as a probe of solar interior magnetic field, *Astrophysical Journal*, 549, 1204-1211 (2001).
13. Nöel, F. Variations of the apparent solar semidiameter observed with the

- astrolabe of Santiago, *Astronomy & Astrophysics*, 325, 825-827 (1997).
14. Noël, F. Astrometric observations of the Sun at Santiago, *Astronomy & Astrophysics*, 375, 614-616 (2001).
 15. Rozelot, J.P., Sigismondi, C., Kilcik, A. & Guhl, K. *Solar Physics* (2008).
 16. Shapiro, I. Is the Sun shrinking? *Science*, 208, 51-53 (1980).
 17. Sigismondi, C. & Oliva, P. Astrometry and Relativity II: Solar Grazes & Solar Diameter, *Journal of the Korean Physical Society*, Vol. 49, No. 2, pp. 840-844 (2006).
 18. Sofia, S., O'Keefe, J., Lesh, J.R. & Endal, A.S. Solar constant constraints on possible variations derived from diameter measurements, *Science* 204, 1306-1308 (1979).
 19. Sofia, S. et al. *Nature*, 304, 522-526 (1983).
 20. Ulrich, R.K., & Bertello, L. Solar-cycle dependence of the Sun's apparent radius in the neutral iron spectral line at 525 nm, *Nature*, 377 (1995).
 21. Vázquez Abeledo, M. El Sol, algo más que una estrella. Equipo Sirius (2004).
 22. Wittmann, A., Alge, E. & Bianda, M. Detection of a significant change in the solar diameter, *Solar Physics*, Vol. 145, No 1/mayo (1993).
 23. Wittmann, A. The solar diameter at 5000 Å and H α from photoelectric drift scans. *Solar Physics*, Vol. 29, No 2/abril (1973).