

Imprecisiones en las observaciones visuales (I)

LOS ERRORES SISTEMÁTICOS

Luis Rivas

Los errores que afectan a las estimaciones a las estimaciones visuales, se pueden dividir en sistemáticos y accidentales. Los primeros modifican la curva de luz en su conjunto, mientras que los errores accidentales la modifican localmente, pudiendo encubrir ciertas ondulaciones o, por el contrario, introducir otras ilusorias. En este texto nos ocuparemos de los errores sistemáticos, deteniéndonos en su identificación y corrección, dejando los errores accidentales para un próximo artículo.

El que una estimación visual sea más o menos "perfecta" (es decir, que la magnitud determinada por el observador corresponda exactamente a lo que ha visto), está función de algunos parámetros:

$m = f(m_0, p, i, h, q_c, c)$ (1)
 donde m_0 es la magnitud real de la estrella, p es la ecuación personal asociada al observador, i la ecuación asociada al instrumento, h la altura de la estrella sobre el horizonte, q_c varía con la calidad del cielo, y c representa los posibles errores en la cartografía utilizada.

1. La posición y el color de las estrellas

La posición de las estrellas observadas va cambiando a lo largo del tiempo, lo cual implica que la estrella será observada a diferentes distancias cenitales teniendo una absorción atmosférica distinta en cada caso. En cualquier caso se recomienda siempre evitar observar estrellas que se encuentren a menos de 20 grados de al-

tura sobre el horizonte, ya que, como se puede apreciar en la Figura 1, a distancias cenitales mayores de 70 grados la absorción es muy importante.

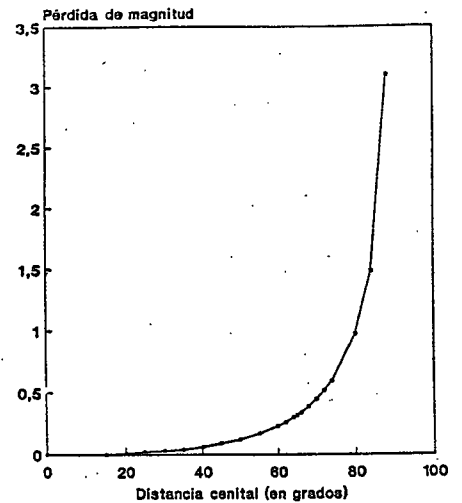
La absorción puede ser calculada por la fórmula (2) para un cielo limpio y oscuro como en el campo, y por la fórmula (3) para el cielo de una gran ciudad:

$$\Delta m = 0,24 \left(\frac{1}{\cos z} - 1 \right) \quad (2)$$

$$\Delta m = 0,9 \left(\frac{1}{\cos z} - 1 \right) \quad (3)$$

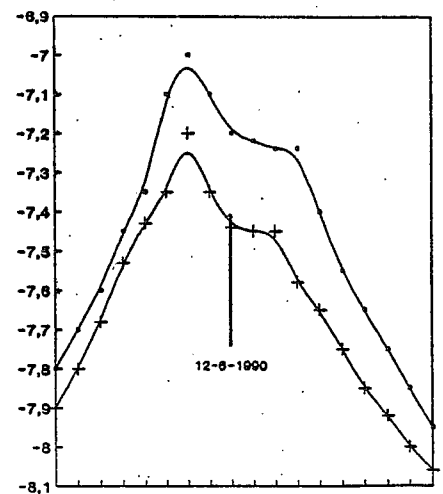
Más difíciles de apreciar resultan las diferencias de brillo que afectan como consecuencia de observar estrellas de diferente color, y que deberán ser estudiadas si se pretende obtener observaciones muy precisas. Cerca del horizonte, el Sol nos parece anaranjado, cuando no rojo, debido a que la luz roja es la que mejor atraviesa la atmósfera en forma tangencial.

Figura 1
Efecto de la absorción atmosférica



Cuando comparamos el brillo de una estrella roja (espectro K ó M) con el de una estrella azul (espectro O ó B), se puede encontrar, por ejemplo,

Figura 2
Ejemplo de curvas separadas afines



que las dos estrellas son iguales cerca del cenit, pero cuando se encuentren cerca del horizonte la roja parecerá claramente más brillante.

Tabla I
Pérdida de magnitud con la distancia cenital

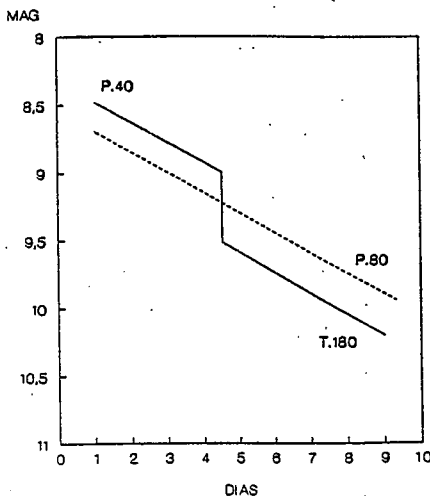
Mag	Dist. cenital	Mag	Dist. cenital
0,00	0	0,30	64
0,00	15	0,32	65
0,01	20	0,34	66
0,02	25	0,39	68
0,03	30	0,45	70
0,04	35	0,52	72
0,06	40	0,60	74
0,09	45	0,65	75
0,12	50	0,98	80
0,17	55	1,49	84
0,23	60	3,10	88
0,26	62		

2. El observador y el instrumento

Vemos que la altura del astro sobre el horizonte es un parámetro evaluable, pero en cambio la ecuación personal y la asociada al instrumento son difíciles de determinar. Así pues, lo más correcto sería tratar y analizar las curvas por separado para cada pareja (p,i). De no hacerlo así, se podría incurrir en el error de despreciar ciertas ondulaciones de la curva de luz, cuando son reales ya que pueden haber sido vistas por distintos observadores independientes.

La Figura 2 ilustra este problema, donde un análisis poco cuidadoso lle-

Figura 3
Efecto del cambio de instrumento



varía a pasar por alto la ondulación existente hacia el día 12 de junio, que se aprecia claramente al mantener las curvas de los dos observadores por separado.

Del mismo modo, el despreciar la ecuación del instrumento puede llevarnos a introducir en la curva ondulaciones irreales. La Figura 3 nos muestra un salto en la curva de luz de una variable debido al cambio de instrumento. Pensemos en este fenómeno cuando se observa una estrella que varíe entre las magnitudes 6.^a y 13.^a, que implicará varios cambios de instrumento.

Es necesario tratar de mantener los pares (p, i) constantes, pero el único medio de conseguirlo es observar todos los días con el mismo instrumento, a la misma altura, y en la misma posición. Dado que esto es muy difícil de conseguir, existen otras alternativas que veremos. Series de observaciones prolongadas de varios años han mostrado que las curvas de luz de una estrella obtenidas por dos observadores diferentes, podían transformarse la una en la otra como producto de una traslación y de una afinidad.

El efecto de la traslación es poco molesto para el estudio teórico de las estrellas variables, ya que sólo puede introducir un error sobre la distancia y la magnitud absoluta, pero no afecta a los fenómenos que provocan las variaciones de brillo. En cambio, la afinidad es más molesta, en cuanto que modifica la amplitud de un observador a otro, de forma que la importancia del fenómeno será distinta para cada observador. Ello conlleva el cálculo de la media de las amplitudes observadas, haciendo corresponder a cada curva una afinidad de forma que su amplitud coincida con la amplitud media.

Este es el caso en el que se calcula la desviación media, que permite

ajustar las curvas individuales entre sí y que pasamos a ver a continuación.

3. La desviación sistemática

Imaginemos que una estrella ha sido observada por cuatro observadores A, B, C y D, y que, tal como muestra la Figura 4, los cuatro la han visto variar de forma idéntica, pero hay desacuerdo entre ellos en lo referente a la magnitud media, dado que cada uno de ellos obtiene distintos valores:

$$\bar{m}_A = 6,20; \bar{m}_B = 6,50; \bar{m}_C = 6,70; \bar{m}_D = 7,20$$

Mediante el cálculo de la desviación sistemática de cada observador, se podrá obtener una curva común a partir de todas estas observaciones. El desacuerdo existente entre las curvas puede explicarse a priori de dos maneras:

- 1) La estrella ha variado entre las magnitudes 6,10 (brillo máximo observado por 1) y 7,30 (brillo

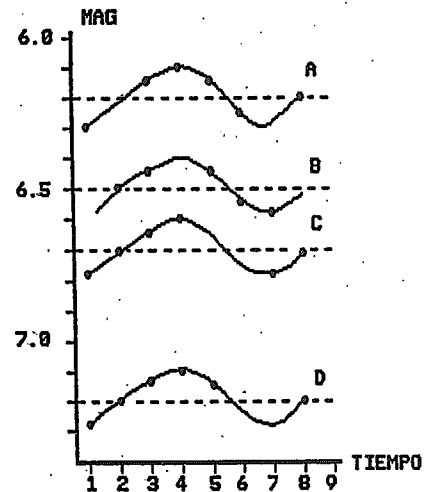


Figura 4

DIA OBS	1	2	3	4	5	6	7	8
A	6,30	—	6,15	6,10	6,14	6,25	—	6,20
B	—	6,50	6,45	—	6,45	6,55	6,58	—
C	6,78	6,71	6,65	6,60	—	—	6,78	6,71
D	7,28	7,20	7,13	7,10	7,15	—	—	7,20

Tabla II.— Medidas de los cuatro observadores de la Figura 4.

mínimo observado por D), pero sin que se pueda determinar de que manera.

- La estrella ha variado según una curva análoga a la que resulta de las estimaciones de los cuatro observadores, pero alrededor de una magnitud media que no es posible fijar en absoluto, aunque es razonable suponer igual el valor medio.

$$\frac{6,20 + 6,50 + 6,70 + 7,20}{4} = 6,65$$

Esta segunda hipótesis es la más lógica, a la vista de la similitud entre las curvas, ya que es muy probable que cada observador haya seguido correctamente el desarrollo general de la curva. Las diferencias de magnitud quedarán explicadas por las diferentes sensibilidades espectrales del ojo, por la utilización de diferentes instrumentos (cada uno de ellos invertirá o no la imagen), por lo que se genera un error causado por la diferencia de posiciones relativas ("ecuación de posición" o efecto Carasky).

Esta diferencia entre las magnitudes medias es la llamada desviación sistemática y se calculará por diferencia con respecto a la media de cada observador. En el ejemplo dado, tendremos:

$$\Delta m_i = \bar{m}_{ABCD} - \bar{m}_i$$

$$\Delta m_A = (6,20 - 6,65) = -0,45 \text{ mag}$$

$$\Delta m_B = (6,50 - 6,65) = -0,15 \text{ mag}$$

$$\Delta m_C = (6,70 - 6,65) = +0,05 \text{ mag}$$

$$\Delta m_D = (7,20 - 6,65) = +0,55 \text{ mag}$$

Para comprender bien la importancia de la desviación sistemática y de los errores que resultarían si se menospreciase, se examinará el conjunto de medidas que han servido para establecer las curvas de luz de la Fi-

gura 4, que se representan en la Tabla II.

Un análisis superficial, con el afán de obtener una curva de luz global, conduciría a considerar como suficiente una simple media diaria. En este caso se obtendría la curva de la Figura 5. Ahora bien, esta curva no corresponde a nada real, ya que ninguna de las curvas reales presenta tales variaciones y, por otra parte, se ha menospreciado la desviación sistemática y las causas de error antes mencionadas (sensibilidad distinta, instrumentos diferentes).

Se ha utilizado en efecto series de medidas que no son homogéneas, por lo que tendría que haberse corregido la desviación sistemática propia de cada observador. Tras dicha corrección, obtendríamos las series de la Tabla III, ya válidas para un estudio global.

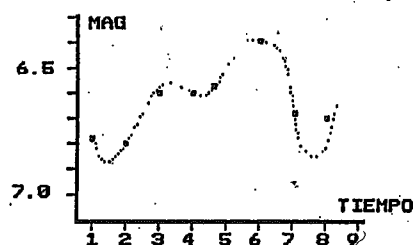


Figura 5. Curva obtenida a partir de las medias diarias tras un estudio incorrecto.

Ahora ya es posible calcular las medias diarias de las medidas así corregidas, medidas que serán respectivamente:

$$\bar{m}_1 = 6,74$$

$$\bar{m}_2 = 6,65$$

$$\bar{m}_3 = 6,60$$

$$\bar{m}_4 = 6,55$$

$$\bar{m}_5 = 6,60$$

$$\bar{m}_6 = 6,70$$

$$\bar{m}_7 = 6,73$$

$$\bar{m}_8 = 6,65$$

La curva de luz así obtenida (ver Figura 6) será una curva media que reflejará bastante mejor las características de las curvas obtenidas por los cuatro observadores. Hemos repasado los errores que se producen al despreciar la desviación sistemática. Sin embargo, cabe señalar que esta desviación no significa que se pueda determinar con precisión la magnitud real de una variable y que de la misma forma se pueda determinar, por ejemplo, su distancia, tomando su magnitud absoluta. En cualquier caso, esta determinación no es importante para las estrellas SR, L ó UG, pero es fundamental para las Cefeidas y para las Novas.

Por otro lado, en ciertos casos se hace necesario el cálculo de la desviación estándar, que es la característica de dispersión fundamental de una distribución estadística. Se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - x_{media})^2}{N-1}}$$

donde x_{media} es la media de las de las medidas x_1, x_2, \dots, x_N . Las observaciones de estrellas variables pueden ser estudiadas estadísticamente, siempre que se disponga de al menos 2 ó

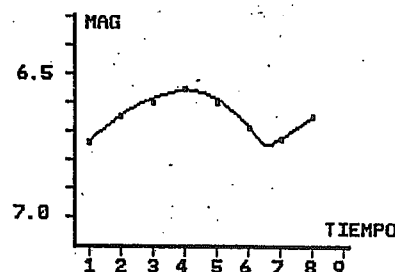


Figura 6. Curva media obtenida tras aplicar la desviación sistemática.

más medidas por noche. Estas medidas se reparten entonces según una distribución normal cuya densidad de probabilidad tiene la forma de una curva en campana. Para todo valor de k , las tablas numéricas dan la probabilidad de que una medida se aleje de la media más de $k\sigma$.

Por último al realizar el estudio de las medidas, a los tiempos utilizados debería aplicárseles la corrección heliocéntrica, aunque este tema será tratado en otro momento.

DIA OBS	1	2	3	4	5	6	7	8
A	6,75	6,65	6,60	6,55	6,59	6,70	6,73	6,65
B	6,65	6,65	6,60	6,55	6,59	6,70	6,73	6,65
C	6,73	6,66	6,60	6,55	6,59	6,70	6,73	6,66
D	6,63	6,65	6,58	6,55	6,60	6,70	6,73	6,65

Tabla III.— Medidas corregidas de la desviación sistemática.