



# Astrofotografía

## EL PROBLEMA DEL MOVIMIENTO SIDÉREO

### (2ª PARTE)

Por Ángel Requena\* y Francisco Pavía  
Coordinador de la sección de Astrofotografía\*  
[arequenavillar@yahoo.es](mailto:arequenavillar@yahoo.es) [pacopavia@terra.es](mailto:pacopavia@terra.es)

*En la primera parte del artículo mencionábamos la importancia que el movimiento sidéreo o diurno tenía a la hora de observar y fotografiar objetos celestes. En esta segunda parte cuantificaremos dicho movimiento y trataremos de contrarrestarlo. Para ello construiremos una montura ecuatorial casera sobre la que situaremos nuestra cámara réflex y cuya función será pues la de realizar el seguimiento sidéreo.*

#### Seguimiento sidéreo

La figura 5 se corresponde a una toma de una serie de trazas estelares, entre las que se encuentra el planeta Marte y la estrella Regulus, que han quedado impresas en el sensor después de 640 segundos de exposición. Aunque la toma es muy fotogénica, desde el punto de vista artístico, en la práctica no nos va a interesar en

absoluto que los objetos salgan movidos.

Como ya podemos figurarnos, el responsable de que los objetos capturados en una toma astrofotográfica de larga exposición no aparezcan en forma puntual sino que lo hagan en forma de trazas de luz no es otro que el movimiento diurno o sidéreo. Y como ya anticipábamos también en la primera parte del artículo (Huygens 94),

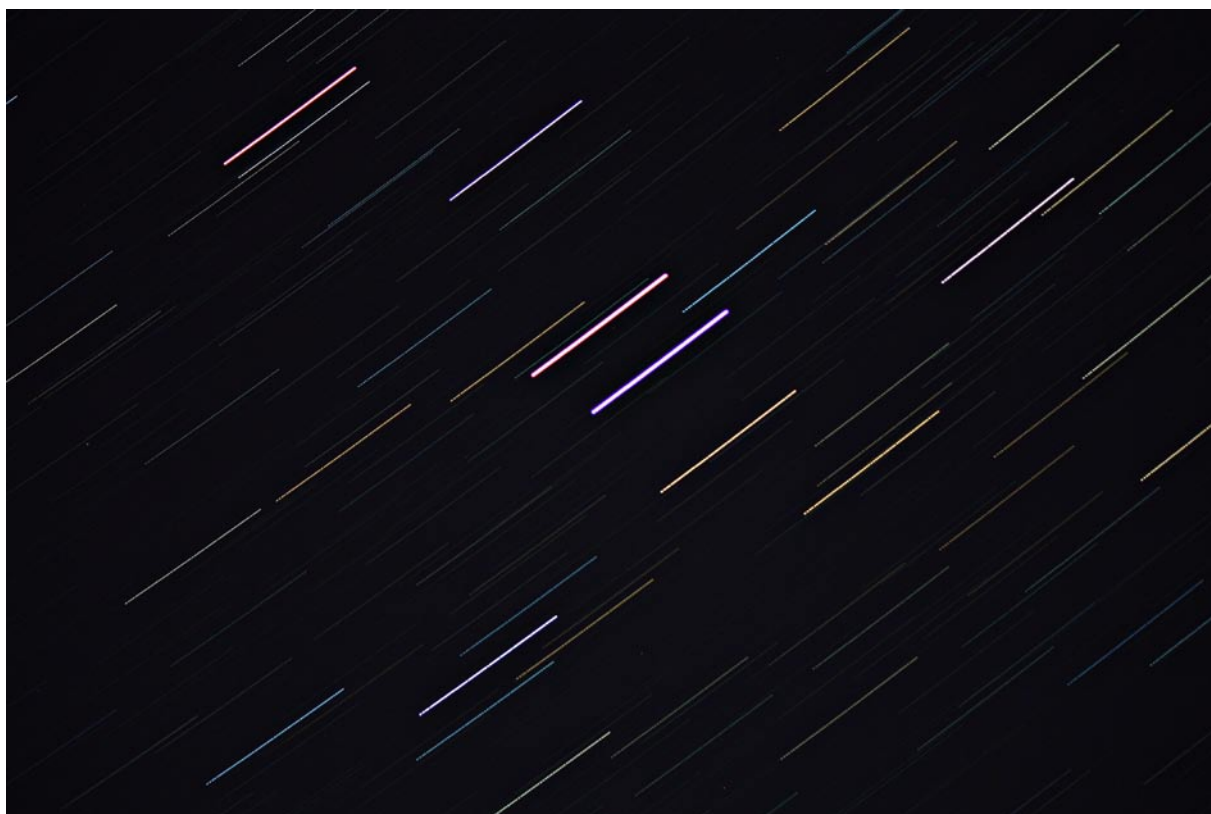


Fig. 5: TRAZAS ESTELARES (MARTE y REGULUS)

la manera de eliminar ese indeseado movimiento es contrarrestarlo.

En efecto, la compensación o contrarrestación del movimiento sidéreo se denomina seguimiento sidéreo y en la práctica consiste en aplicar a nuestro equipo el valor de giro necesario para que las imágenes se mantengan en el mismo lugar del detector a medida que el planeta gira. Y, ¿cuánto vale este giro?, ¿a qué velocidad deberá pues girar nuestro motor de ascensión recta? Para contestar a estas preguntas vamos a necesitar recurrir a una serie de conceptos mencionados anteriormente, concretamente a la diferencia entre un intervalo de tiempo medio y uno sidéreo.

Como ya hemos visto el día solar medio equivale al día sidéreo más un retardo de casi 4 minutos, concretamente  $3^m56^s$ . Al cabo de un año la diferencia será ya de 1 día por lo que podemos expresar que  $365.2422 \text{ días medios} = 366.2422 \text{ días sidéreos}$ . En términos de equivalencia nos quedará pues la igualdad  $TS = 1.002738 \times TM$ , la cual va a constituir la transformación aritmética necesaria para pasar de un intervalo medio a uno sidéreo o viceversa.

Como lo que buscamos es saber qué valor de arco gira la esfera celeste en un intervalo de tiempo determinado (por ejemplo, 1 segundo), en primer lugar necesitaremos saber cuántos segundos de arco y cuántos segundos de tiempo se corresponden con una rotación sidérea completa.

Para obtener el primer valor multiplicaremos  $360^\circ \times 60' \times 60''$  y obtendremos el total de segundos que hay en una rotación sidérea ( $1296000''$ ). Análogamente hacemos lo mismo con el segundo valor ( $24 \text{ h} \times 60 \text{ m} \times 60 \text{ s}$ ) obteniendo un total de 86400 segundos sidéreos que transformándolos a segundos medios nos daría un valor de 86164 segundos.

Este último lo hemos expresado en valores medios para que podamos compararlos con el tiempo de nuestro reloj. Dividiendo el primero y el segundo valor obtenemos el valor de giro por unidad de tiempo medio, aproximadamente  $15''$  de arco/segundo medio.

Como podemos apreciar el resultado obtenido equivale a la velocidad a la que se mueve la esfera celeste en torno a su eje de giro (polo celeste). Así que, para que los astros permanezcan quietos con respecto al telescopio, nuestra montura ecuatorial tendrá que girar en el mismo sentido y a la misma velocidad que lo hace la esfera celeste. De este modo, cualquier objeto que caiga dentro del campo de visión seguirá en él, quedando así contrarrestado el movimiento sidéreo.

### **Montura ecuatorial casera**

Mencionábamos en un número anterior que, si no disponíamos de telescopio, una manera interesante de realizar el seguimiento sidéreo con nuestra cámara sería usar la montura ecuatorial robotizada. Básicamente, ésta consiste en un brazo motorizado montado sobre un trípode sobre el que se sitúa la cámara. La función de este brazo es la de realizar el seguimiento sidéreo mediante la contrarrestación del movimiento sidéreo.

Si fuéramos capaces además de realizar una buena alineación al polo sería posible obtener un seguimiento sideral casi tan bueno como con un telescopio, pero con la ventaja de que gracias a su ligereza y portabilidad sería posible llevarla con nosotros allá donde vayamos. Sin duda alguna es una buena opción para realizar tomas de gran campo con cámaras réflex.

No obstante, esta montura tiene un inconveniente y es su alto precio. La más conocida del mercado (de la marca Astrotrac) cuesta unos 500 Euros, casi el mismo precio que nos costaría una cámara réflex de calidad. Así que si vuestro bolsillo no os lo permite o sencillamente no queréis gastaros tanto dinero en este producto, existe la posibilidad de construirse uno mismo una montura casera de bastante calidad por apenas 30 Euros!

La montura ecuatorial casera que Paco Pavía ha construido es realmente una adaptación de la montura que Gary Seronik propuso en un artículo de Sky&Telescope (Agosto 2011). Si tenéis un buen nivel de inglés y queréis consultar la fuente original, no tenéis nada más que seguir las indicaciones que en él se da para construirla. Pero os he de hacer una advertencia, el lenguaje que usa es bastante técnico y es muy probable que el profano



Fig. 6: CÁMARA SOBRE LA MONTURA CASERA

en la materia se pierda, especialmente cuando utiliza vocablos referentes a los accesorios y componentes de la montura. A ello hay que sumarle el hecho de que el sistema de medida americano es diferente al nuestro (pulgadas).

Por esta razón, al diseñar nuestra montura hemos intentado adaptarnos a las medidas de los tornillos europeos y al material que hemos encontrado, sin preocuparnos demasiado de si se ajusta o no al diseño original de Gary. De hecho, todos los componentes que vamos a mencionar los podéis encontrar en cualquier ferretería, lo único extraordinario es la rótula a la que se ancla la cámara, que en nuestro caso la hemos adquirido en una tienda de fotografía especializada.

La idea de la montura es muy simple a la vez que ingeniosa. El diseño básico consiste en dos tablas o placas metálicas a modo de planos de abatimiento unidas por una bisagra. Sobre uno de los planos (placa metálica A) situaremos solidariamente la rótula para la cámara y el otro (placa metálica B) lo anclaremos a nuestro trípode mediante la placa de engancho rápido. A una distancia determinada del eje de abatimiento haremos un agujero

sobre una de las placas de modo que podamos pasar a través de él un tornillo de 5 mm. de diámetro (también conocido en el argot técnico como tornillo de métrica 5) y de un paso de rosca de 0.8 mm (la medida del tornillo es variable y por tanto es posible escoger un tornillo con una métrica diferente). Este tornillo es junto a la bisagra el alma de la montura ya que gracias a su avance a través de una rosca del mismo paso conseguiremos que el plano de abatimiento sobre el que reposa la cámara se mueva, respecto al que está sujeto el trípode, a razón de 0.8 mm. de arco por vuelta.

Si además colocamos la montura de forma que al girar el plano de abatimiento éste se acompase con la esfera celeste entonces tendremos resuelto el problema del seguimiento. Para conseguirlo, en primer lugar nuestra montura deberá situarse paralelamente al plano del ecuador celeste para lo cual alinearemos el eje que definen las bisagras hacia el polo celeste. Basta con alinearlas a ojo de buen cubero para obtener un resultado aceptable. En nuestro caso, y para mejorar esta alineación grosera, utilizamos un láser que situamos sobre la propia bisagra a modo de puntero.

En segundo lugar, deberemos sincronizar el giro de nuestra montura con el giro de la esfera celeste. ¿Cómo realizamos ésto? Como ya hemos deducido anteriormente, la esfera celeste se mueve de Este a Oeste a razón de 15" de arco/segundo, que expresado en radianes serían 0.000073 radianes/segundo. Aparentemente, esta velocidad es muy pequeña y por tanto en un segundo apenas si notaríamos su incidencia. Pero al cabo de un par de minutos el espacio recorrido ya es lo suficientemente importante como para que en una fotografía de gran campo comience a apreciarse el trazo estelar.

Por otro lado sabemos que para ángulos muy pequeños, la tangente del ángulo es igual al valor de dicho ángulo. Como el ángulo que intentamos contrarrestar es casi despreciable podemos aplicar pues esta relación trigonométrica a nuestro caso:

$$\text{tg } A = A \text{ (rad)} = P \text{ (mm)}/D \text{ (mm)}$$

donde por una parte A es el ángulo de giro del plano de abatimiento producido por el paso del tornillo expre-

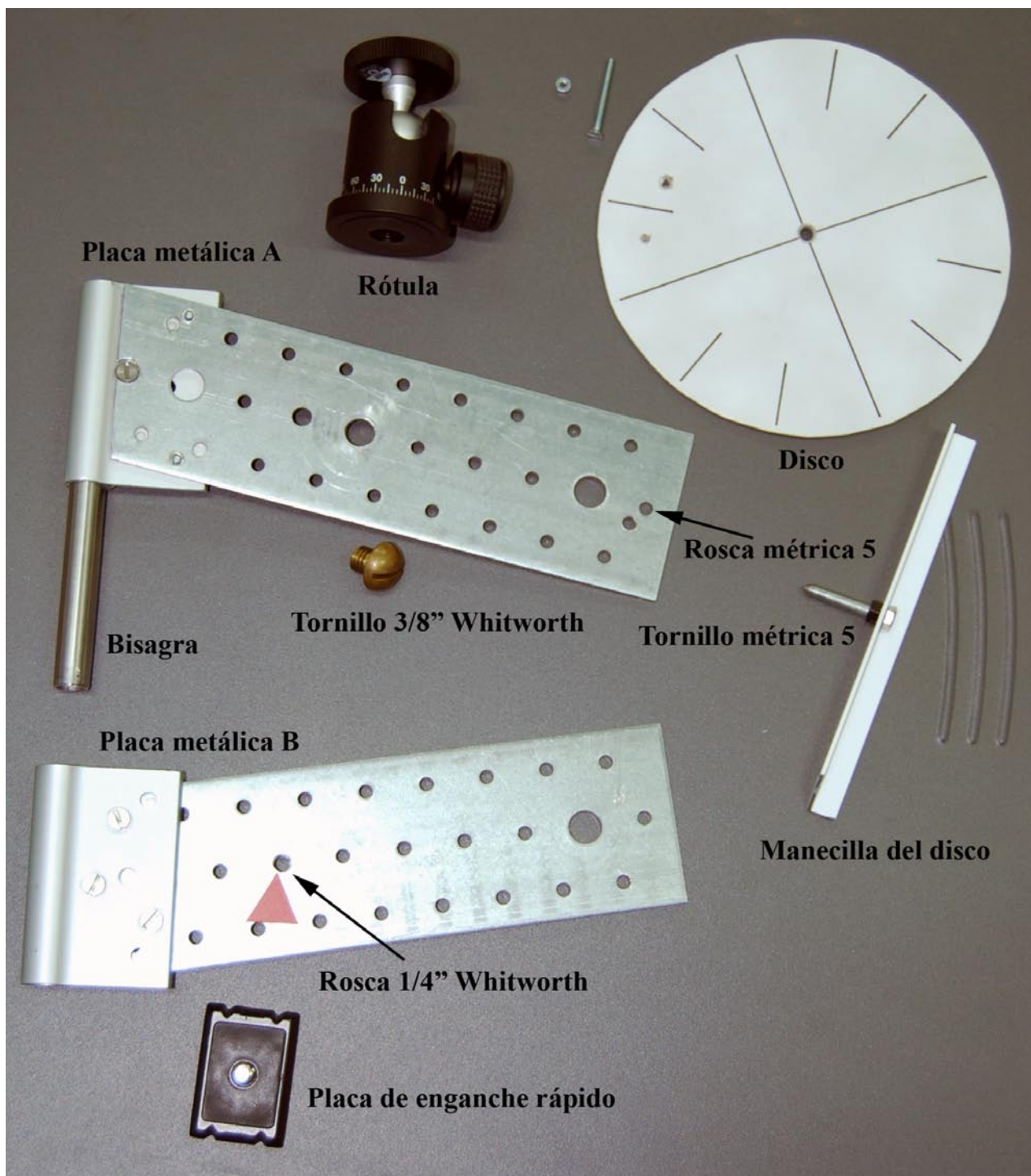


Fig. 7: COMPONENTES DE LA MONTURA ECUATORIAL

sado en radianes, P es el paso del tornillo en milímetros y D la distancia del eje de abatimiento o charnela al agujero donde insertaremos el tornillo, también en milímetros. De la ecuación anterior sólo conocemos el paso de rosca que en nuestro caso hemos elegido convenientemente (0.8 mm.) El ángulo de giro A y la distancia D son por ahora nuestras incógnitas.

Sabemos además que una rotación de nuestro tornillo produce un cierto giro en el cielo y que éste vale A. Como conocemos también cuánto gira el cielo en un segundo, podemos fácilmente deducir cuántos segundos

(N) supondría una rotación de nuestro tornillo.

$$N = A / 0.000073 \text{ (seg)} = 0.8 / 0.000073 \times D \text{ (seg)}$$

No obstante, seguimos sin poder resolver la igualdad planteada ya que todavía tenemos una ecuación con dos incógnitas. Para resolverla no nos quedará más remedio que o bien fijar el valor de la distancia de la charnela o bien fijar un tiempo para la rotación del tornillo. En nuestro caso, y por comodidad, vamos a hacer que N valga un minuto de tiempo para la rotación del tornillo. Ahora sí que podemos resolver la igualdad:

$$N=60 \text{ (seg)} = 0.8/0.000073 \times D \text{ (seg)}$$

en la que ya tan sólo tenemos una incógnita, la distancia del tornillo al eje de la charnela. Despejando la incógnita D de la igualdad obtenemos un valor aproximado de 183 mm. Por tanto, para un paso de 0.8 mm. y una distancia del eje de abatimiento o charnela al agujero de 183 mm., nuestro plano de abatimiento debe girar a un ritmo de un paso de rosca por minuto para que esté perfectamente sincronizado con el del cielo.

Finalmente, y para que la montura sea del todo efectiva, ya sólo nos quedará añadirle un mecanismo que nos permita sincronizar el giro del tornillo con el secundero de nuestro reloj. En nuestra montura hemos añadido un disco a modo de reloj sobre el que gira una manecilla solidaria al tornillo. Como en este disco hemos marcado las mismas subdivisiones que las de nuestro reloj, sólo tendremos pues que girar la manecilla a la misma velocidad que gira el secundero del reloj para conseguir la sincronización. En la práctica, sin embargo, no es necesario sincronizarlos al segundo, basta con que cada 10 segundos movamos con el dedo nuestro particular “secundero” en el disco.

Y para aquellos manitas que no les convenza la versión “manual” de la montura, una opción muy interesante es motorizarla. De este modo, adaptándole un motor con reductora que dé una vuelta cada minuto tendríamos el prototipo completamente acabado.

### Resultados obtenidos

En conclusión, de nuestra experiencia con la montura destacamos el fantástico resultado fotográfico que hemos obtenido con ella. De hecho, casi todas las fotografías capturadas hasta ahora han salido sin deriva y en las pocas en las que no se ha conseguido del todo ha sido debido fundamentalmente a problemas de alineación con la polar, no a la sincronización con el secundero del reloj. Además, a esto hay que sumarle la gran portabilidad (pesa menos de 1 kilogramo) y la facilidad de montaje y manejo de la misma (se monta en apenas unos minutos).

Teóricamente, hemos calculado que si la sincronización y la alineación son correctas se puede realizar una toma de 8-10 minutos antes de que el error de tangente



Fig. 8: ORION y TAURO

aparezca y produzca la indeseada deriva. No obstante, en la práctica no os aconsejo realizar tomas más largas de los 2-3 minutos ya que un pequeño error en la sincronización o en la alineación puede arruinaros toda la toma. Sin duda alguna, siempre será preferible realizar varias tomas más cortas que después se podrán sumar con un programa de tratamiento fotográfico.

Y para muestra, un botón. La figura adjunta corresponde a una fotografía de gran campo de la región de Orion y Tauro sobre el horizonte Este obtenida el día 25 de Noviembre de 2011. Dicha toma se realizó con una cámara Nikon D60, un objetivo de focal a 18 mm. y los ajustes de la misma fueron F/5.6 de apertura, 119 s. de TE e ISO800. Como se puede ver en la instantánea no hay deriva y eso que el tiempo de exposición fue de 2 minutos! Lástima que la humedad estropeará alguna que otra toma ajustada a un tiempo de exposición mayor.

Finalmente, y como toque final, en el postproceso se realizó un ajuste de curvas y una reducción del ruido mediante el filtro de desenfoque suavizado que proporciona el software Adobe Photoshop.

### Bibliografía básica de interés

- Michael A. Covington, *Telescopios modernos para aficionados*, Ed. Akal (2005).
- Michael A. Covington, *Astrofotografía con cámaras réflex digitales*, Ed. Akal (2009).
- F. Martín Asín, *Astronomía*, Ed. Paraninfo (1990).
- F. Martín Asín, *Geodesia y cartografía matemática*, Ed. Paraninfo (1990).
- Juan B. Mena Berrios, *Geodesia Superior (Volumen 1)*, Centro Nacional de Información Geográfica (2008).
- Vicent J. Martínez, Joan Antoni Miralles, Enric Marco y David Galadí-Enríquez, *Astronomía fundamental*, Publicacions Universitat de València (2005).
- José Lull, *La astronomía en el antiguo Egipto*, Publicacions Universitat de València (2005).
- Gary Seronik, *A simple hinge tracker*, Sky & Telescope (Agosto 2011).
- David Finkleman, Steve Allen, John H. Seago,

Rob Seaman y P. Kenneth Seidelmann, *El futuro del tiempo*, Investigación y Ciencia (Diciembre 2011).

### Créditos de las figuras

- Fig. 5: Trazas estelares (Marte y Regulus). Autor: Josep Julià Gómez. Cámara: Canon 450D y objetivo a 55 mm. Fecha: 11/11/2011. Lugar: Marzuquera (Gandía). Ajustes: F/4, ISO800 y suma de 65 tomas de 10 s. de exposición cada una (650 segundos).
- Fig. 6: Cámara sobre la montura ecuatorial. Autor: Ángel Requena. Cámara: Olympus C70Z y objetivo a 8 mm. Fecha: 5/12/2011.
- Fig. 7: Componentes de la montura ecuatorial casera. Autor: Ángel Requena. Cámara: Nikon D60 y objetivo a 18 mm. Fecha: 13/01/2012.
- Fig. 8: Orion y Tauro. Autor: Ángel Requena. Cámara: Nikon D60 y objetivo a 18 mm. Fecha: 25/11/2011 (23:06 TL). Ajustes: F/5.6, 119 s. de TE e ISO800.



## TU TIENDA DE OPTICA



- TELESCOPIOS
- MICROSCOPIOS
- PRISMATICOS
- LUPAS
- FOTOGRAFIA
- ACCESORIOS

WWW.ASTRO-OPTICA.COM  
 C/ Sant Antoni 106  
 46760 Tavernes de la Valldigna  
 (Valencia)  
 Tlf. 962 040 123  
 Tlf. 666 169 682  
 info@astro-optica.com  
 Cita previa exposición



WWW.ASTRO-OPTICA.COM  
 TLF. 96 204 023