

## SECTION: SOFTWARE FOR PHOTOMETRY &amp; ASTROMETRY

# Fotometría con Tycho: fotometría de cometas multiapertura y AfRho a partir de un *Track Stack*

Ramón Naves<sup>1</sup> and Montse Campàs<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Obs. Montcabrer - MPC 213, Cabriils–Barcelona, Spain. E-mail: [ramonnavesnogues@gmail.com](mailto:ramonnavesnogues@gmail.com).

<sup>2</sup>Obs. Montcabrer - MPC 213, Cabriils–Barcelona, Spain. E-mail: [mcampast@gmail.com](mailto:mcampast@gmail.com).

**Keywords:** astrometría, fotometría, Tycho

© Este artículo está protegido bajo una licencia [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

## Abstract

Este artículo pretende ofrecer un tutorial cuya intención es explicar cómo usar Tycho para obtener resultados fotométricos para cometas compatibles con los que se obtienen con los programas *Astrometrica* y *Focas*.

## Abstract

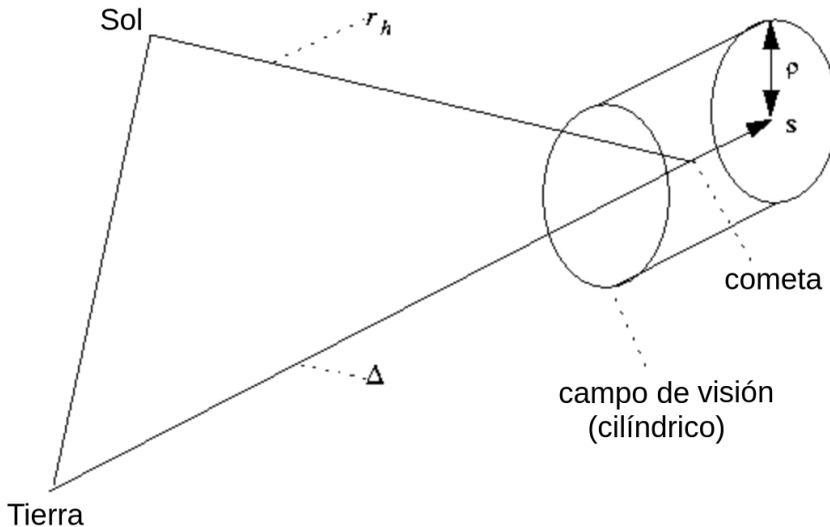
This article aims to provide a tutorial intended to explain how to use Tycho to obtain photometric results for comets compatible with those obtained using the software *Astrometrica* together with *Focas*.

## 1. Introducción

Antes de adentrarnos en este campo sería útil conocer los antecedentes de la Fotometría de cometas y que tiene de especial, frente a la fotometría estelar. La fotometría de cometas tiene algunas peculiaridades. En fotometría estelar es muy frecuente que existan cartas estelares para las variables más estudiadas, con las estrellas de calibrado y control ya elegidas previamente, para que los diversos observadores usen, esas mismas estrellas, en la medida de lo posible. Pero claro, los cometas se mueven por el cielo, por lo que no existen unas cartas fotométricas asociadas a un cometa en particular. Otro problema es que los cometas son difusos, tienen cierta extensión, no son objetos puntuales como las estrellas, así que la elección de la caja o box fotométrico adecuado también supone un problema añadido. Asimismo, las estrellas tienen su propio brillo, y sobre todo un amplio abanico de colores. En cambio podemos considerar que los cometas, como solo reflejan la luz solar y no tienen luz propia, tienen todos el mismo color, prácticamente el color del Sol. Aunque es bien conocido que los grandes cometas emiten su propia luz verdoso azulada por fluorescencia al ser iluminados sus compuestos gaseosos por los rayos ultravioletas del Sol. Aunque esta luz verdosa solo supone una pequeña contribución al brillo total de cometa.

Por tanto, aunque es una simplificación, consideraremos que en general los cometas tienen todos el mismo color que el Sol, ello nos permite hacer fotometría sin usar filtros fotométricos, sin que ello suponga un gran disparate, como si lo sería para hacer fotometría sin filtros de estrellas variables, donde cada estrella tiene su propio color. Con estas tres premisas en mente, hace unos 25 años, el Grupo de Observadores de cometas propuso ideas para intentar solventar el problema de la dispersión en los datos fotométricos que se obtenían hasta entonces. Primero se decidió fijar un box fotométrico que fue de 10x10 segundos de arco. Se eligió un box cuadrado porque el software que conocíamos entonces CCDOPS, es lo que permitía. Los primeros resultados mostraron que la dispersión de los datos obtenidos

había bajado bastante, pero seguía siendo insuficiente. Así que decidimos que no nos podíamos fiar de elegir una o dos estrellas de calibrado, porque los resultados cambiaban enormemente dependiendo de las estrellas elegidas.



**Figura 1.** Geometría para la definición del parámetro  $Af(\rho)$ .  $\rho = \rho$  es el radio del cilindro.

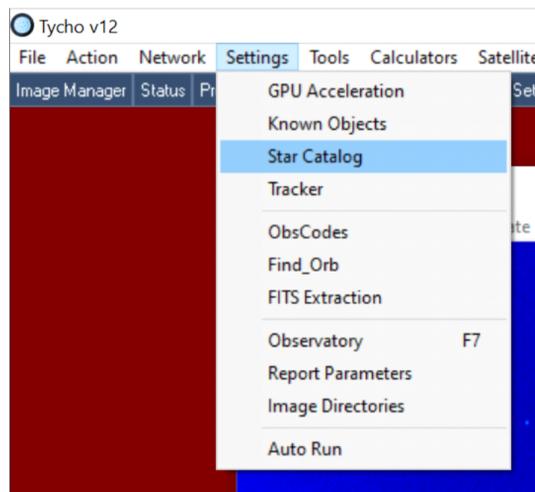
En ese momento empezamos a probar varios programas que tuvieran la posibilidad de contar con una buena base de datos fotométrica y que además el cálculo de los centroides en las imágenes fuera de lo más exacto posible. Probamos varios programas distintos y después de muchas pruebas, el programa ganador resultó ser “ASTROART”. La idea era elegir todas las estrellas posibles dentro del catálogo USNO 2.0 en la banda R (banda R por aquello de considerar que era el color más apropiado para los cometas por ser más parecido al Sol, junto con la mayor sensibilidad de las cámaras CCD de la época en esa banda.). Elegir las estrellas de comparación con Astroart una a una, era una tarea tediosa y propensa al error.

Por fortuna contábamos con la ayuda de Julio Castellano, quien desarrolló un software llamado Fase 3, que ayudaba en esta cuestión. Fase 3 ayudaba a correlacionar con un par de clics, las estrellas de tu imagen, con las estrellas correspondientes del catálogo Usno, Aunque su trabajo no acababa aquí, filtraba dicho catálogo y siguiendo criterios fotométricos eliminaba las estrellas de calibrado que tenían mayor discrepancia hasta un valor sigma determinado. Cabe recordar que el catálogo USNO 2.0 partía de imágenes de película química escaneada en la banda R, habían estrellas con un error de catálogo que podía superar las dos magnitudes. Hoy en día es un catálogo obsoleto, pero hace 25 años, para nosotros, supuso algo donde agarrarnos. Fase 3 con la ayuda de los centroides de Astroart realizaba la fotometría por su cuenta con la novedad de añadir nuevos boxes fotométricos cuadrados de 10 x10, 20x20, 30x30, 40x40, 50x50 y 60x60 segundos x lado, a esta fotometría la llamamos fotometría Multibox. Fase 3 supuso toda una revolución pues por primera vez obteníamos una fotometría consistente fuera cual fuera el observador.

Pasaron los años y apareció en escena un programa astrométrico maravilloso llamado Astrometrica. El programa realizaba una astrometría muy buena pero la fotometría que realizaba de los cometas no tenía mucha relación con la que obteníamos con Fase 3. De nuevo propusimos a Julio castellano si podía hacer algo parecido a lo que hacía Fase 3 con Astroart, pero esta vez ayudándose de

Astrometrica. Resultó que Astrometrica generaba unos Logs internos que permitieron al nuevo programa (esta vez lo llamamos Focas) calcular la fotometría a partir de los centroides calculados por Astrometrica. Resultó mucho más fácil usar Astrometrica y Focas que usar la versión anterior de Fase 3 con Astroart. En ese momento Julio Castellano cambió la fotometría a unos box circulares, pero que tuvieran el mismo tamaño que los antiguos box cuadrados, para que de esta manera la nueva fotometría fuera compatible con la antigua.

Con la aparición del catálogo CMC 14-15 cambiamos a este último por ser un catálogo realizado con una cámara CCD y filtro fotométrico Sloan r, se añadió un pequeño offset para la compatibilidad con las medidas antiguas. Por último nos pasamos al catálogo Gaia Banda G por ser esta muy similar a la respuesta de un chip CCD sin filtro fotométrico, y por dar unos resultados muy parecidos a los obtenidos anteriormente. Focas también incorporo el cálculo de  $A_{frho}$ .



*Figura 2. Fotometría con Tycho. Elegir configuración del catálogo.*

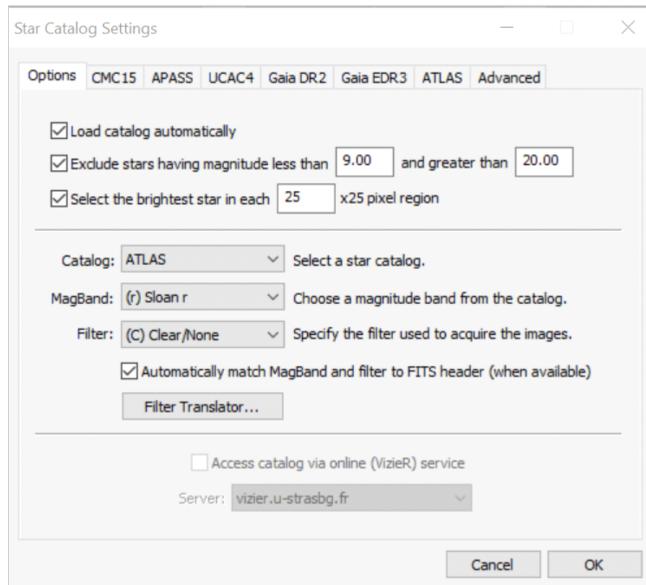
## 2. $A_f(\text{Rho})$ - Breve introducción (Julio Castellano Roig - MPC 939)

El parámetro  $A_f(\text{Rho})$  [1, 2, 3], ampliamente utilizado en fotometría cometaria, fue introducido en 1984 por Michael A'Hearn con el objetivo de describir el brillo de la coma de los cometas. Se define como el producto del albedo de las partículas, por un "factor de llenado" y por la superficie de la apertura fotométrica empleada proyectada a la distancia del cometa. El factor de llenado sería el cociente entre la sección de las partículas de polvo y la superficie proyectada de la apertura. La cantidad  $A_f(\text{rho})$  define la altura de un cilindro de base equivalente a la proyección de la apertura fotométrica, completamente lleno con las partículas de polvo. Usualmente se mide en cm.

### 2.1. Independencia de la apertura

Los autores del trabajo original y otros, sostienen que el parámetro  $A_f(\text{Rho})$  es independiente de la apertura fotométrica empleada. Basta una pequeña reflexión para comprobar que esta afirmación es errónea: implica que el comportamiento de los cometas es uniforme, que la tasa de producción de polvo cambia suavemente y que la velocidad de expansión de este es constante. El cometa 29P es un buen ejemplo de lo contrario. Este cometa se caracteriza por episodios más o menos espaciados de un

súbito aumento de brillo de varias magnitudes. Durante los primeros instantes, una apertura fotométrica pequeña puede abarcar la totalidad del polvo producido, mientras que una más grande no se vería afectada (salvo la parte que comprende a la apertura menor). Conforme el polvo se va expandiendo, llena las aperturas más grandes, que registran un aumento de brillo, mientras que en la más pequeña, la pérdida de densidad induce el descenso del nivel de brillo inicial.



*Figura 3. Setting Star Catalog: opciones a rellenar.*

## 2.2. Producción de polvo

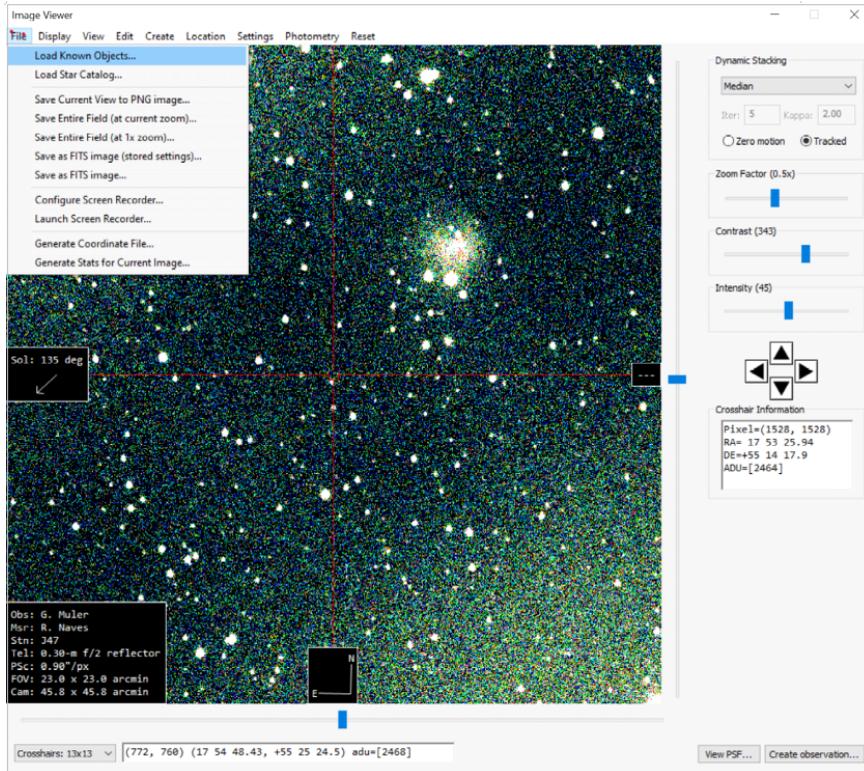
Es evidente que el parámetro  $A_f(\text{Rho})$  está directamente relacionado con la producción instantánea de polvo, sobre todo en aperturas pequeñas, según lo visto en el párrafo anterior. Sin embargo, hay discrepancias importantes entre los distintos autores y resultados consultados, que llegan a superar un factor de 10. En estas condiciones, sería poco prudente establecer una relación determinada entre ambos valores y parece preferible no concretar numéricamente esa dependencia.

## 3. Fotometría con TYCHO

Para fotometría de cometas, con o sin filtro fotométrico, verificaremos que estamos usando el catálogo Atlas. Usaremos por defecto la banda Sloan r si no estamos usando ningún filtro. Para ello clicamos en Settings Star catalog (Fig. 2).

Lo configuraremos de la siguiente manera (Fig. 3): para fotometría de cometas, con o sin filtros, verificaremos que estamos usando el catálogo Atlas. Configurándolo según el filtro empleado (en este ejemplo elijo la banda Sloan r por ser la que da resultados más parecidos a Gaia). Aunque en este ejemplo concreto elegimos Clear, porque en realidad no se ha usado ningún filtro fotométrico. En caso de usarlos, elegiríamos la banda y el filtro que corresponda con el filtro empleado. Procederemos como si fuéramos a realizar la astrometría del cometa, y para ello cargamos todas las imágenes, Fig. 4. Previamente las habremos astrometrizado, calibrado y alineado con la opción Express mode (ver

artículo anterior en la serie, [4]). Ahora hacemos click en Load Known Objects para que nos aparezca la lista de objetos conocidos.



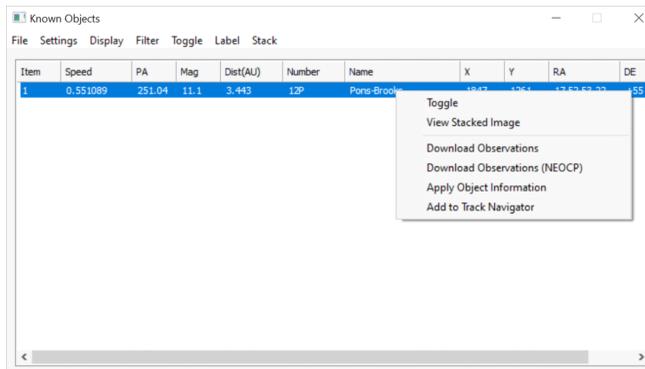
**Figura 4.** Carga de las imágenes.

A continuación seleccionamos el cometa a medir, en el caso del ejemplo, 12P (Fig. 5), y clicamos en Add To Track Navigator, Fig. 6, y posteriormente en Verify Track, Fig. 7.

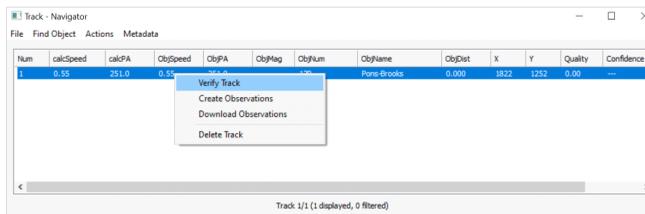
Item	Speed	PA	Mag	Dist(AU)	Number	Name	X	Y	RA	DE
1	0.551089	251.04	11.1	3.443	12P	Pons-Brooks	1847	1261	17 52 53.22	+55

**Figura 5.** Lista de objetos a cargar.

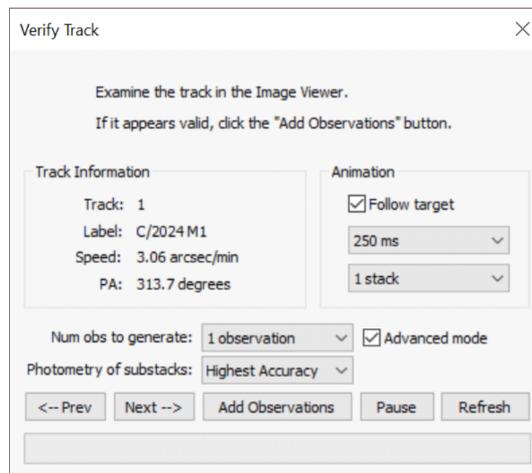
A partir de aquí nos aparece la ventana mostrada en la Fig. 8, donde solo marcaremos un único stack.



**Figura 6.** Selección del objeto.



**Figura 7.** Selección de Verify Track.

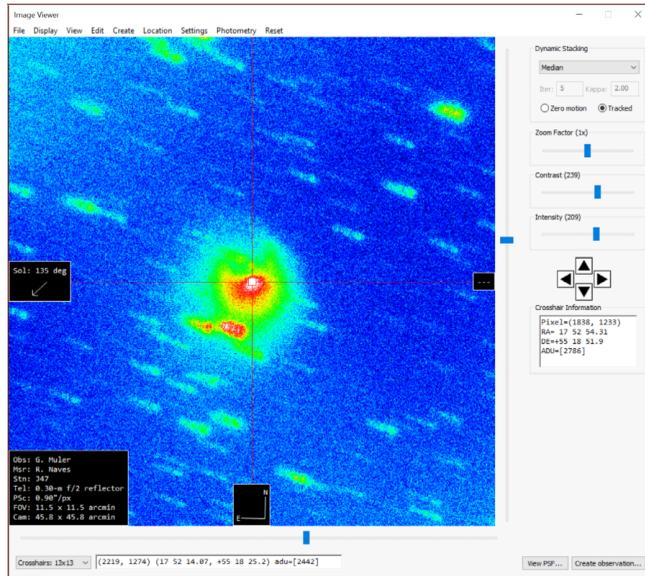


**Figura 8.** Ventana asociada al menú Verify Track.

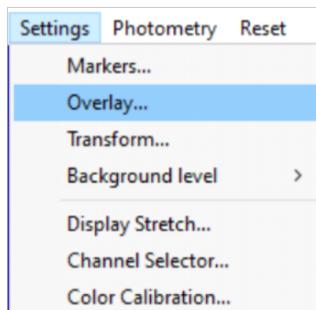
Nos aparecerá entonces la imagen sumada sobre el cometa, Fig. 9. Una cuestión importante: en Dynamic Stacking debemos tener puesta la opción Median.

A continuación clicaremos en Settings Overlay, y después en Apply Object. Esta acción nos abrirá un nuevo menú (Fig. 11), donde introduciremos el nombre del cometa, y clicaremos OK. El campo Object Number lo reservaremos solo para los cometas periódicos numerados, y Object Name para los cometas con designación provisional. Clicamos en 12P, y posteriormente en OK para que aparezcan los parámetros del cometa en la imagen. En la ventana Image Viewer nos aparecerá un recuadro con

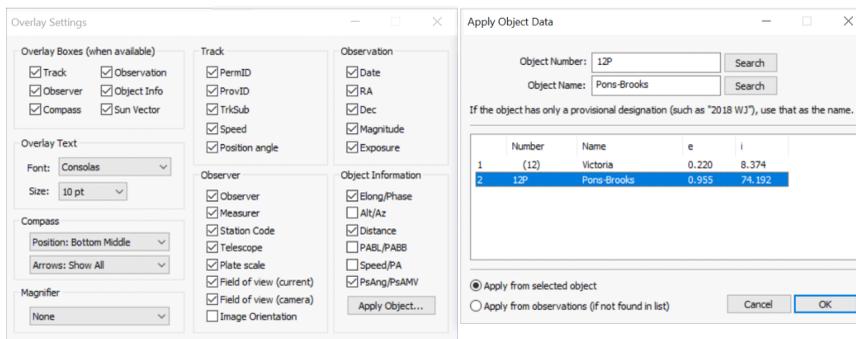
los datos correspondientes al cometa.



**Figura 9.** Visor de imágenes con la imagen del cometa.

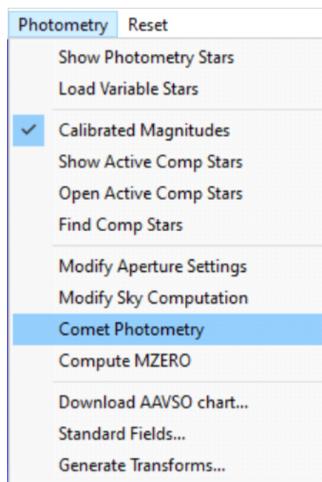


**Figura 10.** Selección del menú Overlay.



**Figura 11.** Ventana del menú *Overlay Settings*.

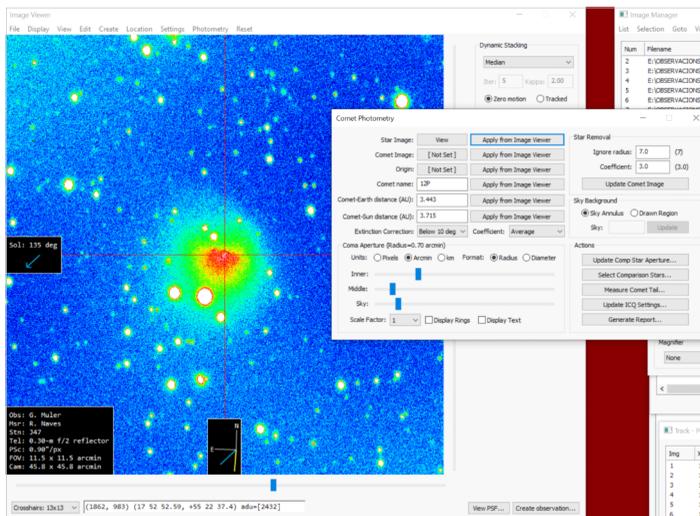
Para realizar la fotometría del cometa, clicamos en *Photometry* y luego en *Comet Photometry* para abrir el correspondiente menú, Fig. 12.



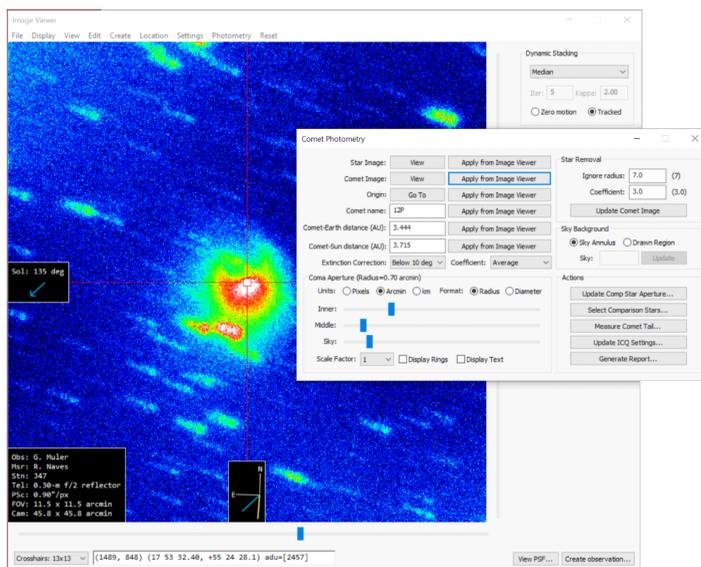
**Figura 12.** Selección del menú *Comet Photometry*.

Nos aparecerá entonces una ventana, Fig. 13, donde seleccionaremos qué imagen corresponde a cada uno de los menús *Star Image*, *Comet Image*, y *Origin*. En *Star Image* la imagen aparecerá con las estrellas puntuales y el cometa movido. En este paso clicamos *Apply from Image Viewer*, pero antes debemos haber marcado *Zero Motion* en la imagen inferior del campo estelar. *Star Image* se debe corresponder con una imagen suma con las estrellas puntuales, por lo que es imprescindible tener marcado *Zero Motion* en *Image Viewer*. En *Dynamic Stacking* debemos tener elegida la opción *Median*. Si elegimos *Comet Image*, Fig. 14, la imagen aparecerá con las estrellas movidas y el cometa puntual. En este paso clicaremos *Apply from Image Viewer*, pero antes debemos haber marcado *Tracked* en la imagen inferior del campo estelar; *Comet Image* se debe corresponder con una imagen suma con el cometa puntual, por lo que es imprescindible tener marcado previamente esta opción *Image Viewer*.

En el caso de *Origin*, Fig. 15, la imagen aparece con las estrellas movidas y el cometa puntual. En este paso clicamos *Apply from Image Viewer*, pero antes debemos haber marcado *Tracked* en la imagen inferior del campo estelar. *Origin* se debe corresponder con una imagen suma con el cometa



**Figura 13.** Ventana del menú Comet Photometry sobre la del Image Viewer, con la opción Star Image.



**Figura 14.** Ventana del menú Comet Photometry sobre la del Image Viewer, con la opción Comet Image.

puntual, que debe salir centrado en el recuadro, por lo que es imprescindible tener marcado previamente Tracked en Imagen View. Clicando Go To el cometa debe aparecer recuadrado.

El programa se encarga de borrar las estrellas para poder obtener una fotometría correcta. En el sub-menú Sky Background (Fig. 16) marcaremos, con la tecla *shift* apretada, un cuadrado que nos cubra sobradamente la coma del cometa (no es algo crítico pues el resultado no cambia aunque seleccionemos más o menos coma). También podremos activar, marcando dentro del cuadradito Display Rings, los

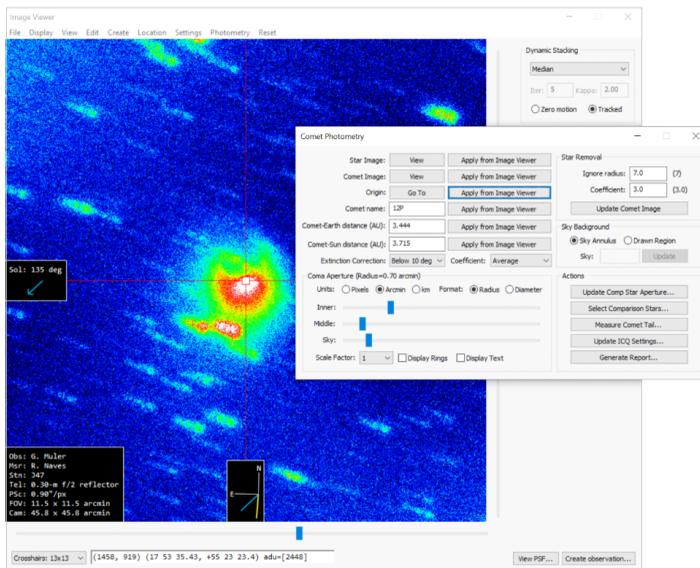


Figura 15. Ventana del menú Comet Photometry sobre la del Image Viewer, con la opción Origin.

anillos concernientes a la coma de cometa. Estos ajustes tampoco afectan a las medidas de Afrho.

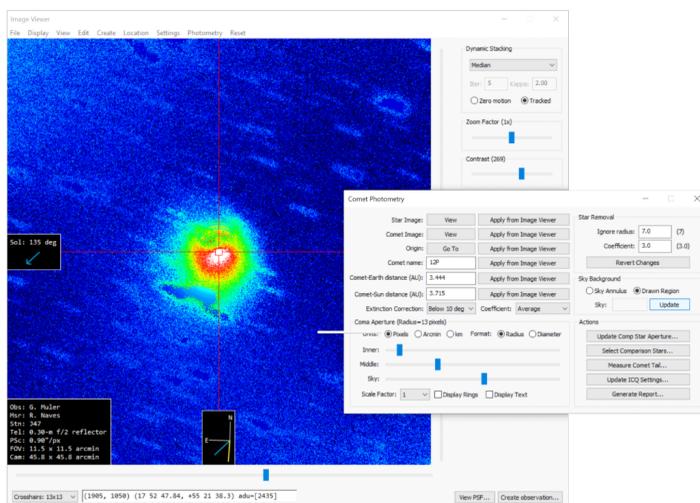


Figura 16. Submenú Sky Background.

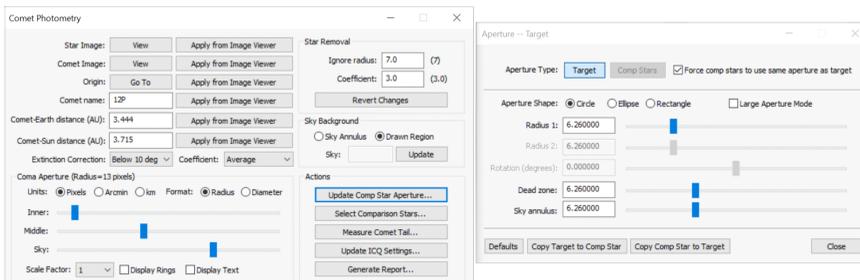
En Modify Aperture Settings podemos elegir el tamaño del box fotométrico adecuado, para ser compatibles con los métodos que hemos usado anteriormente hasta ahora (Astrometrica+Focas). Inicialmente (Astroart + Fase 3) usábamos un box fotométrico cuadrado de 10 x 10 segundos, es decir, de 100 segundos de arco al cuadrado. Posteriormente, aunque le seguimos llamando 10 x 10, en realidad en Focas ya usábamos un box circular de 100 segundos cuadrados de superficie. Aquí haremos lo mismo y para ello usaremos box circulares de 100 segundos de arco cuadrados.

100 segundos cuadrados es equivalente a un box circular de  $5.64''$  de radio, ya que el radio es 88

$(100/\pi)^{1/2} = 5.64$ , siendo  $\pi$  el número pi. Ahora bien, Tycho trabaja en pixels, y por tanto habrá que calcular el radio en pixels. Para ello, tendremos que dividir 5.64 por la resolución por pixel a la que trabajamos con nuestra cámara digital. En este ejemplo trabajamos a  $0.9''/\text{px}$ , y el cálculo a realizar es muy simple:

$$\text{radio en pixels para Tycho} = \frac{5.64}{\text{resolución en ''/px}} = \frac{5.64}{0.9} = 6.26 \text{ px.}$$

Este es el valor que elegiremos para todos los box, Fig. 17. En caso de no conocer la resolución a la que trabajamos, el propio Tycho nos la pone abajo en la imagen,  $\text{PSc} = 0.9''/\text{px}$ .



*Figura 17. Elección de las aperturas.*

El submenú **Select Comparison Stars**, Fig. 17 sirve para elegir las estrellas de comparación siguiendo unos criterios óptimos. Con el catálogo **AtLas** es posible hacerlo como en este ejemplo. Debemos elegir las estrellas que cumplan el criterio elegido marcándolas a partir de la lista que nos aparece, Fig. 18. Es bueno filtrar por SNR; en este ejemplo está solo en el valor 70, pero es preferible siempre que se pueda subirlo a valores más altos como 100 o 200, siempre que aún tengamos suficientes estrellas. Yo recomendaría como mínimo diez estrellas. Podemos filtrar también por magnitud. Se trata de obtener un valor **Std lo** más bajo posible, en este caso 0.092, pero manteniendo un buen número de estrellas. Las estrellas más alejadas de la pendiente deben excluirse. Las estrellas de calibrado se pueden añadir, o bien clicándolas directamente de los puntos rojos, o seleccionándolas de la lista de la izquierda, Fig. 19. Nos aparece una lista con las estrellas de comparación seleccionadas.

Finalmente, clicando en el submenú **Generate Measurements**, nos aparecerán los resultados, como los mostrados en la Fig. 20.

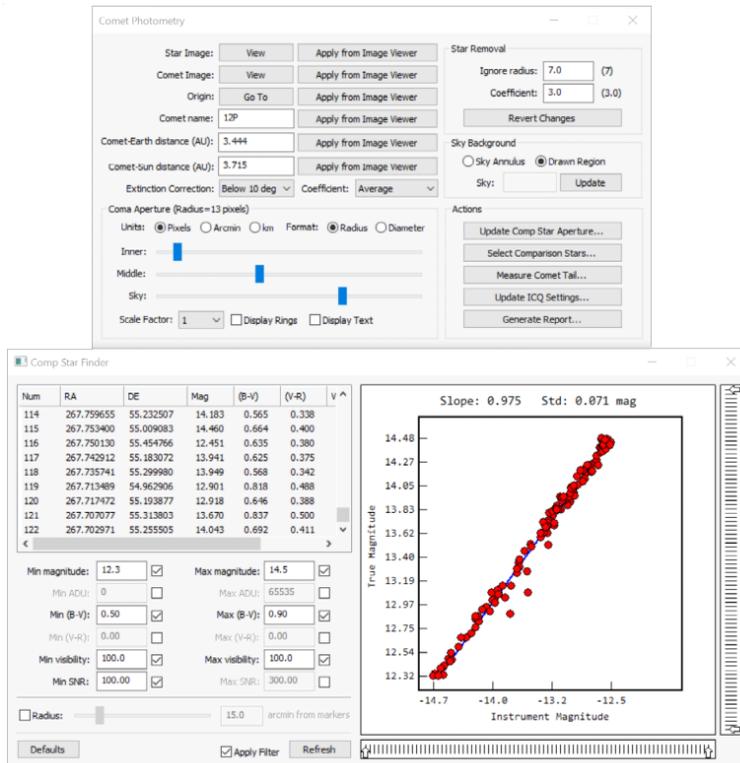


Figura 18. Submenú Select Comparison Stars.

## Referencias

- [1] Comet Bowell 1980b, A'Hearn et al. (1984),  
[http://adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-data\\_query?bibcode=1984AJ.....89..579A&db\\_key=AST&link\\_type=GIF](http://adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-data_query?bibcode=1984AJ.....89..579A&db_key=AST&link_type=GIF)
- [2] *An Engineering Model of the Dust and Gas Environment of the Inner Coma of Comet P/Wirtane*, M. Müller y E. Grün (1997). ESA, Directorate of Technical and Operational Support, RO-ESC-TA-5501.
- [3] *Le parametre  $A_f(\text{Rho})$  - traceur de la activité cometaire*,  
<http://perso.wanadoo.fr/fkometes/documents/pdf/ohp111204.pdf>, L. Jorda.
- [4] R. Naves y M. Campàs, JCAAC 2, 105 (2025).

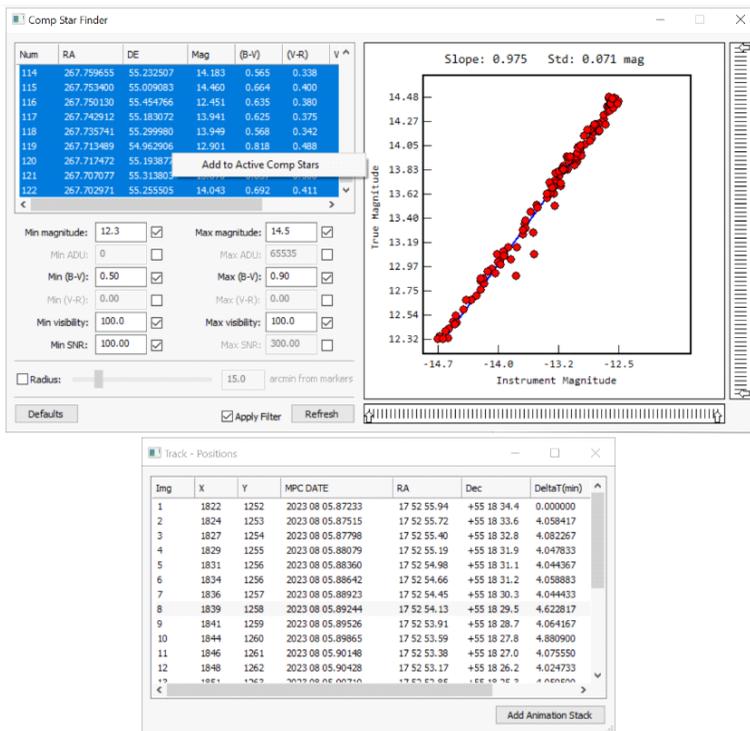


Figura 19. Elección de estrellas de comparación en el submenú Select Comparison Stars.

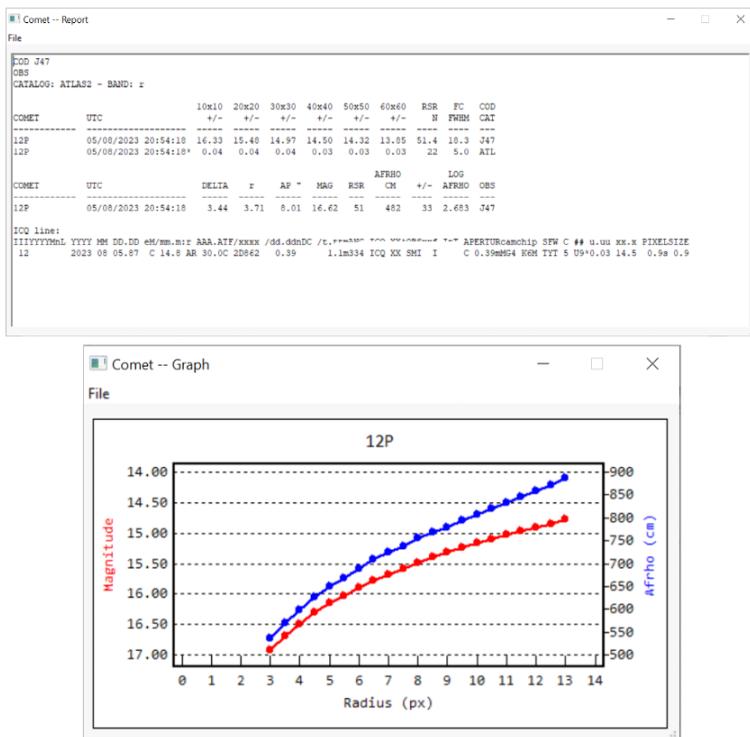


Figura 20. Resultados finales de la fotometría del cometa.