

TUTORIAL DEL ASTROMÉTRICA

CONSIDERACIONES PREVIAS:

La astrometría es la rama de la astronomía que determina la posición de los objetos celestes utilizando diferentes métodos; además de las posiciones, con el uso de métodos astrométricos se pueden conocer las velocidades de las estrellas (su movimiento propio).

La astrometría mediante el uso de la cámara DIGITAL básicamente consiste en fotografiar el objeto que se pretende medir, y utilizando como referencia las coordenadas conocidas de algunas de las estrellas que aparecen en dicha fotografía –previamente identificadas y seleccionadas con la ayuda de un catálogo estelar para poder obtener sus coordenadas en A.R. y Declinación- determinar la posición del objeto cuya posición queremos obtener para ese momento dado.

EQUIPO NECESARIO:

a) TELESCOPIO

En primer lugar, se necesita un telescopio. Prácticamente cualquier telescopio motorizado preparado para tomar fotografías de espacio profundo. Obviamente, cuanto mayor sea la apertura mayor será la capacidad de fotografiar objetos más débiles, pero ya con un telescopio pequeño como un refractor de 80mm o un reflector de 114mm se pueden capturar una variedad de objetos como asteroides y cometas.

b) CÁMARA FOTOGRAFICA E IMAGENES

Obviamente, también es necesaria una cámara para capturar las imágenes, que puede ser una CCD, DSLR, Digicam o incluso Webcam. Lo importante es conocer la longitud focal del telescopio y el tamaño de píxel de la cámara para poder determinar la resolución del equipo, o sea, la escala. Para poder efectuar mediciones precisas, es importante que dicha escala no sea superior a los 2 segundos de arco / píxel, preferentemente.

La resolución de la imagen se puede calcular de la siguiente manera:

a) Cámara acoplada a foco primario:

$$R = P * 206,265 / f$$

Donde:

R = Resolución (en seg. de arco/píxel)

P = tamaño de píxel (en micrometros)

f = distancia focal del telescopio (en milímetros)

Por ejemplo, la Canon XTI tiene un píxel de 5,71 micrómetros. Esta cámara acoplada en foco primario a un telescopio de 600mm de distancia focal, tendría una resolución de 1,96 segundos de arco por cada píxel.

b) Cámara acoplada en proyección de ocular:

En el caso de que se utilice la cámara por proyección de ocular, para obtener una resolución mayor, la fórmula a aplicar es similar a la anterior, con la salvedad que como por la incorporación del ocular ya la distancia focal no va a ser la misma, es necesario reemplazarla por la distancia focal equivalente del telescopio, que se calcula de la siguiente manera:

$$F_e = f * l / f_1$$

Donde

Fe = Distancia focal equivalente (en milímetros)
f = distancia focal del telescopio (en milímetros)
l = distancia del ocular al chip de la cámara (en milímetros)
f1= distancia focal del ocular utilizado(en milímetros)

c) Cámara acoplada en afocal:

En este caso, también se modifica la distancia focal del telescopio, la cual se calcula de la siguiente manera:

$$Fe = f \times c / f1$$

Donde:

Fe = distancia focal equivalente (en milímetros)

f = distancia focal del telescopio (en milímetros)

c = distancia focal de la cámara (en milímetros)

f1= distancia focal del ocular utilizado (en milímetros)

HORARIO DE LA IMAGEN: Es de vital importancia la precisión del horario en que se tomó cada imagen. Es conveniente sincronizar la hora de la computadora con un reloj atómico por internet antes de cada sesión, o si no se dispone de conexión a internet, sincronizar el reloj con la señal horaria que emite el Observatorio Naval de Buenos Aires en las radios de AM.

TIEMPO MAXIMO DE EXPOSICION: Es muy importante también calcular el tiempo máximo que se puede exponer en cada toma individual un determinado objeto. Esto depende de la velocidad aparente de dicho objeto. Es necesario que mientras dure la exposición de cada imagen individual, el cometa o asteroide no se mueva ni un solo píxel. Para poder determinar el tiempo máximo de exposición se utiliza el siguiente cálculo:

$$\text{Exposición máxima} = \text{resolución} / \text{Velocidad del objeto (en seg. de arco / minuto)} * 60$$

Por ejemplo, si se está trabajando con una resolución de 1,96"/píxel, y se pretende fotografiar un cometa cuyo movimiento aparente es del orden de los 6.3"/minuto, el tiempo máximo de exposición sería 18,66 segundos en cada imagen individual, de lo contrario, el cometa se habría movido de píxel, y ya se perdería la precisión en la determinación de su baricentro.

FORMATO FITS:

Si se utiliza una CCD pensada para astronomía, las imágenes deben ser guardadas en formato FITS (Flexible Image Transporting System) que tiene la ventaja de incluir en la imagen datos esenciales en formato ASCII (como fecha y hora de la toma en este caso) por lo que uno puede simplemente sincronizar el reloj de la computadora con que toma las imágenes y listo, cuando se adquieren automáticamente el software le estampa la hora.

Con cámaras digitales o webcams la cosa se complica un poco, porque es necesario llevar un registro manual del horario de cada imagen. Otra complicación es que el programa ASTROMETRICA solo acepta imágenes en formato FITS y en blanco y negro, así que lo que hay que hacer es convertir la imagen digital RAW, TIFF o JPG en FITS, lo que se puede hacer simplemente abriéndola con un programa como MAXIM DL, convirtiéndola a monocromática y guardándola como FITS; de paso es útil insertarle la fecha y hora de exposición, así ya queda guardada con cada imagen y después no hay que ir insertándola manualmente cada vez que se abra con el astrométrica.

SOFTWARE:

Además del programa de cartas celestes que se utilice (Cartes du Ciel, The Sky, Starry Night, etc) para poder ubicar los objetos, se necesita utilizar un programa para efectuar la astrometría. El más popular es el ASTROMETRICA de Herbert Raab, el cual se puede descargar de aquí: <http://www.astrometrica.at/>

También es necesario el uso de algún CATALOGO ESTELAR, preferentemente el UCAC2 o el USNO A2. Si no se dispone de esos catálogos, pero se cuenta con conexión a internet, el programa ASTROMÉTRICA descarga automáticamente la sección del catálogo USNO B1 que se necesite.

PRECISIÓN DE LAS MEDICIONES:

El objetivo es que la precisión en las mediciones sea $<1''$ de arco, que es lo que exige por ejemplo el MPC para asignar a un emplazamiento fijo un código de observatorio. De todas maneras en un principio no hay que preocuparse por llegar a lograr esa precisión, que puede estar fuera del alcance de uno por limitaciones propias del equipo utilizado.

OBJETOS A OBSERVAR:

En principio se puede capturar y medir cualquier objeto, aunque los más habituales son los cometas y los asteroides.

Los NEOS (NEAR EARTH OBJECTS = objetos cercanos a la tierra) son los que más atención suscitan, ya que por tener un perihelio menor que 1,3 unidades astronómicas ($q < 1,3$ UA) se acercan a la Tierra, aumentando las probabilidades de colisión; de éstos, los ASTEROIDES POTENCIALMENTE PELIGROSOS o PHA, son aquellos que tienen una intersección orbital mínima con la de la tierra menor a 0,05 UA y un tamaño estimado mayor a 150 metros.

Estos objetos pueden ser seguidos con telescopios pequeños + CCD en el momento en que se encuentran en oposición y cerca de nuestro planeta.

Para aquellos que desean incursionar en la astrometría, lo ideal es empezar a practicar con los asteroides numerados, ya que resulta fácil poder corroborar la precisión de las mediciones realizadas con sus elementos orbitales.

EJEMPLO DE USO DEL ASTROMETRICA:

El programa Astrométrica funciona de la siguiente manera: se carga la imagen o una serie de imágenes del objeto que hemos fotografiado. Debemos indicarle la fecha y hora de la imagen, y las coordenadas aproximadas del centro de la imagen, o en su defecto, la designación del cometa o asteroide que pretendemos medir y en este caso el programa busca las coordenadas de dicho objeto para la fecha y hora dadas en la base de datos (El fichero MPCORB.DAT que debe ser actualizado regularmente)

Una vez determinada a qué parte del cielo corresponde la imagen, el programa busca reconocer las estrellas que se encuentran en la imagen, mediante la comparación de la posición de las estrellas en la fotografía con la posición de las estrellas según el catálogo estelar utilizado (UCAC2, USNO B1, USNO A2, etc). Si logra reconocer el campo, entonces marca con un círculo color verde aquellas estrellas cuya posición en la foto coincide con la del catálogo y sus residuales son aceptados y serán utilizados como estrellas de referencia, y marca con un círculo amarillo aquellas que no acepta. Es necesario que el programa detecte al menos 6 estrellas para poder efectuar una reducción astrométrica de la imagen.

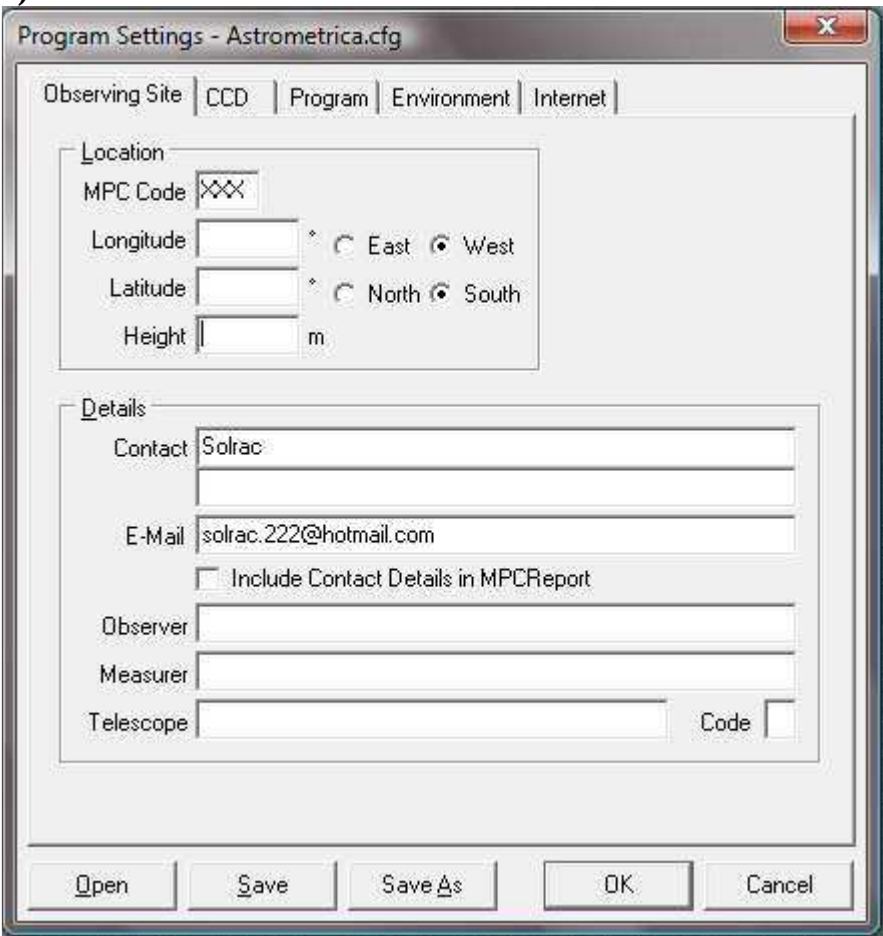
Una vez que el Astrométrica ha reconocido las estrellas de referencia y por lo tanto ha determinado su posición en la imagen, está en condiciones de calcular las coordenadas de cualquier objeto que seleccionemos en dicha imagen

A continuación, va un ejemplo de como funciona el programa:

1º PASO: CONFIGURACION DEL ASTROMETRICA PARA PODER LEER LAS IMAGENES

Una vez instalado el programa, hay que configurar los parámetros del mismo: Esto se hace seleccionando settings en la pestaña files, o cliqueando en el primer icono de la fila superior (llave inglesa) 

a) PESTAÑA OBSERVING SITE



The screenshot shows a Windows-style dialog box titled "Program Settings - Astrometrica.cfg". It has five tabs: "Observing Site", "CCD", "Program", "Environment", and "Internet". The "Observing Site" tab is selected. Inside the tab, there are two main sections: "Location" and "Details".

Location Section:

- MPC Code: A text box containing "XXX".
- Longitude: A text box followed by a degree symbol and two radio buttons labeled "East" and "West". The "West" radio button is selected.
- Latitude: A text box followed by a degree symbol and two radio buttons labeled "North" and "South". The "South" radio button is selected.
- Height: A text box followed by "m".

Details Section:

- Contact: A text box containing "Solrac".
- E-Mail: A text box containing "solrac.222@hotmail.com".
- Below E-Mail: A checkbox labeled "Include Contact Details in MPCReport" which is currently unchecked.
- Observer: A text box.
- Measurer: A text box.
- Telescope: A text box.
- Code: A checkbox.

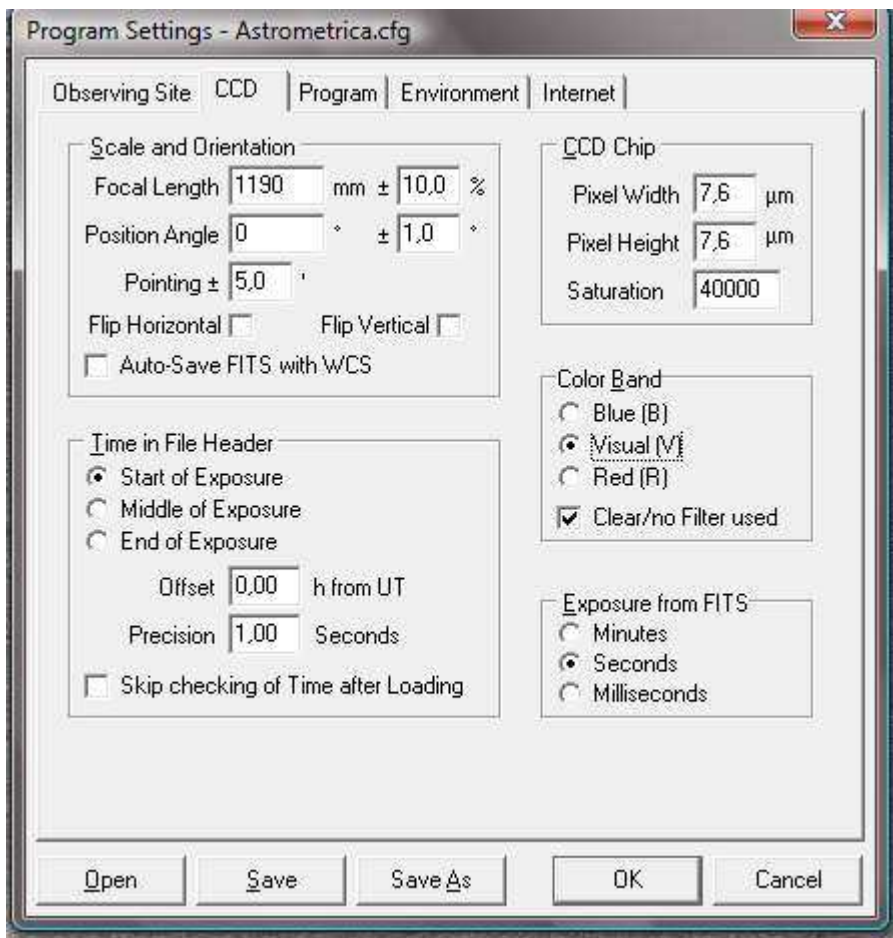
At the bottom of the dialog box are five buttons: "Open", "Save", "Save As", "OK", and "Cancel".

MPC CODE: es el codigo que asigna el Minor Planet Center a los observatorios, como no tenemos ninguno se deja XXX

LONGITUDE, LATITUDE y HEIGHT: longitud, latitud y altura del observador

CONTACT y EMAIL: A los fines de este tutorial solo interesa completar estos datos en esta ventana (cualquier nombre de contacto y direccion de mail es valida), ya que el programa los necesita para logearse via FTP para bajar el fichero MPCORB.DAT tal como se indica mas adelante.

b) PESTAÑA CCD:



En esta pestaña se ingresan los datos fundamentales para que el programa pueda reconocer el area fotografiada:

FOCAL LENGTH: Es la distancia focal del telescopio que se utiliza, acá vamos que ingresar 1190,0 ya que si bien las imágenes que adjunto para practicar fueron tomadas con un Hokenn 200/1200.

POSITION ANGLE: Es el ángulo de rotación de la imagen, en este caso, el valor es 0 lo que implica que el Norte de la imagen está arriba, y el ESTE a la izquierda (por eso las casillas de FLIP HORIZONTAL Y FLIP VERTICAL no deben estar tildadas.

POINTING: es el margen de error que hay en la precisión del apuntado.

FLIP HORIZONTAL Y FLIP VERTICAL: Sirve para espejar automáticamente toda imagen que se cargue, horizontalmente o verticalmente respectivamente. Esto también varía en cada configuración. En este caso, no deben estar tildadas por el tipo de telescopio utilizado.

CCD CHIP: En este sector se ingresa el tamaño del chip de la cámara CCD o CMOS que se utiliza, para que el programa pueda determinar la resolución de la imagen.

Aquí hay que poner el tamaño correspondiente a la cámara utilizada, que es de 7,6 x 7,6 micrómetros.

2° PASO: BAJAR EL FICHERO MPCORB

Si se acaba de instalar el ASTROMETRICA, es necesario bajar el fichero MPCORB que contiene los elementos orbitales del MPC (Minor Planet Center). Eso se hace a través de la pestaña INTERNET, y DOWNLOAD MPCORB.

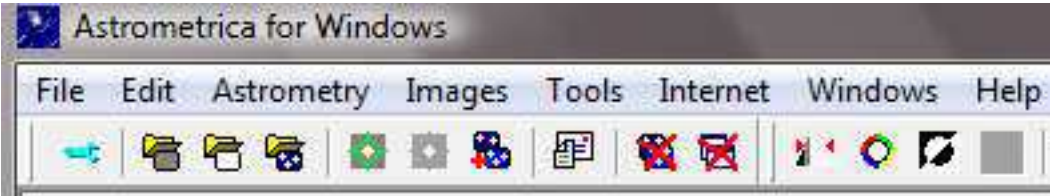
3° PASO: CARGAR LA IMAGEN

Ahora cargamos la imagen CCD que adjunto, llamada Geografos 11-5.fts, que corresponde al asteroide 1620 Geographos. El astrométrica lee los datos de fecha y hora de la toma, y nos pide que los confirmemos, así que ponemos aceptar:

Tal como se aprecia en la imagen, la misma se ha invertido tipo negativo (decimo tercer icono de la barra de herramientas del astrometrica) para una mejor visualización.

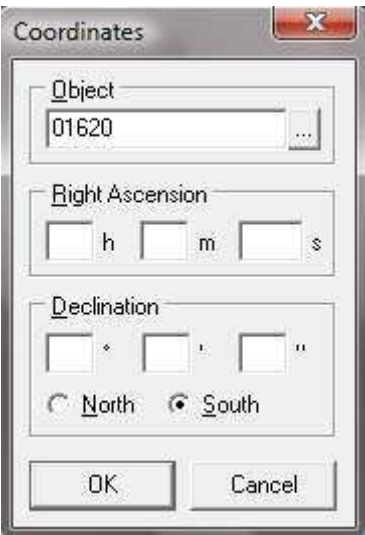
4° CUARTO PASO: REDUCCION ASTROMÉTRICA:

Ahora estamos en condiciones de procesar la imagen, el programa utiliza el catálogo USNO B1 que lo consulta a través de internet. Para ello, en la pestaña ASTROMETRY seleccionamos la primer opción DATA REDUCTION, o directamente se cliquea el botón verde correspondiente al 5to. Icono:



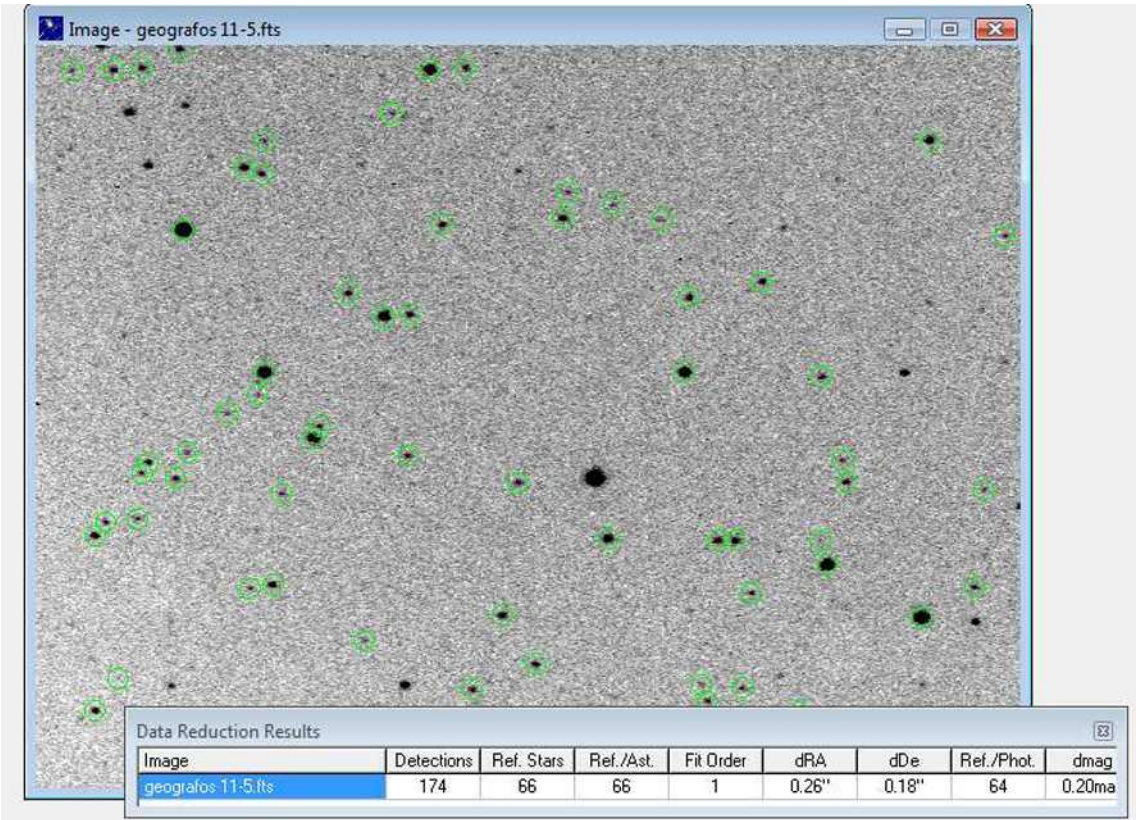
A continuación, se nos pide que ingresemos los datos del objeto o las coordenadas aproximadas de la imagen:

En este caso, como se sabe que el objeto es el asteroide 1620 Geographos, se pone en el objeto el numero 01620 que es el codigo del MPC para dicho asteroide.



El programa entonces se encarga de buscar en el archivo MPCORB las coordenadas aproximadas de dicho objeto para la fecha y hora de la imagen, y baja la porción de cielo correspondiente mediante la conexión de internet, utilizando el catálogo USNO B1

Si todo salio bien, la pantalla que aparece será la siguiente:



Los círculos verdes corresponden a las estrellas detectadas y cuya posición en la imagen coincide con la que debería tener en el catálogo USNO B1, y las amarillas son estrellas no detectadas, generalmente también puede ser ruido en la imagen.

Asimismo, se despliega un cuadro con los resultados de la reducción, llamado Data Reduction Results, que da la siguiente información:

IMAGE: nombre del archivo de imagen

DETECTIONS: Numero de estrellas detectadas

Ref. Stars: Son las estrellas que el astrometrica va a utilizar como estrellas de referencia.

Ref/ Ast: Estrellas seleccionadas para el cálculo astrométrico (el ASTROMETRICA descarta por defecto (se puede cambiar el criterio en SETTINGS) como estrellas de referencia astrométrica cualquiera cuyos residuales sean superiores 1"arco). El astrométrica necesita como mínimo detectar 6 de estas estrellas para poder resolver la placa.

dRA y dBE: Son los valores residuales de las estrellas en Ascensión Recta y Declinación respectivamente, o sea, el promedio de los valores absolutos de las diferencias entre las posiciones del catálogo y las medidas de las estrellas en ascensión recta. Es un buen indicio de la precisión obtenida en la imagen, en este caso son muy inferiores al segundo de arco (0.26" en RA y 0.18" en DE)

Ref/Phot: son las estrellas tomadas por el programa como referencia para calcular la fotometría

dMag.: Es la diferencia en magnitud de las estrellas medidas y el catalogo de referencia.

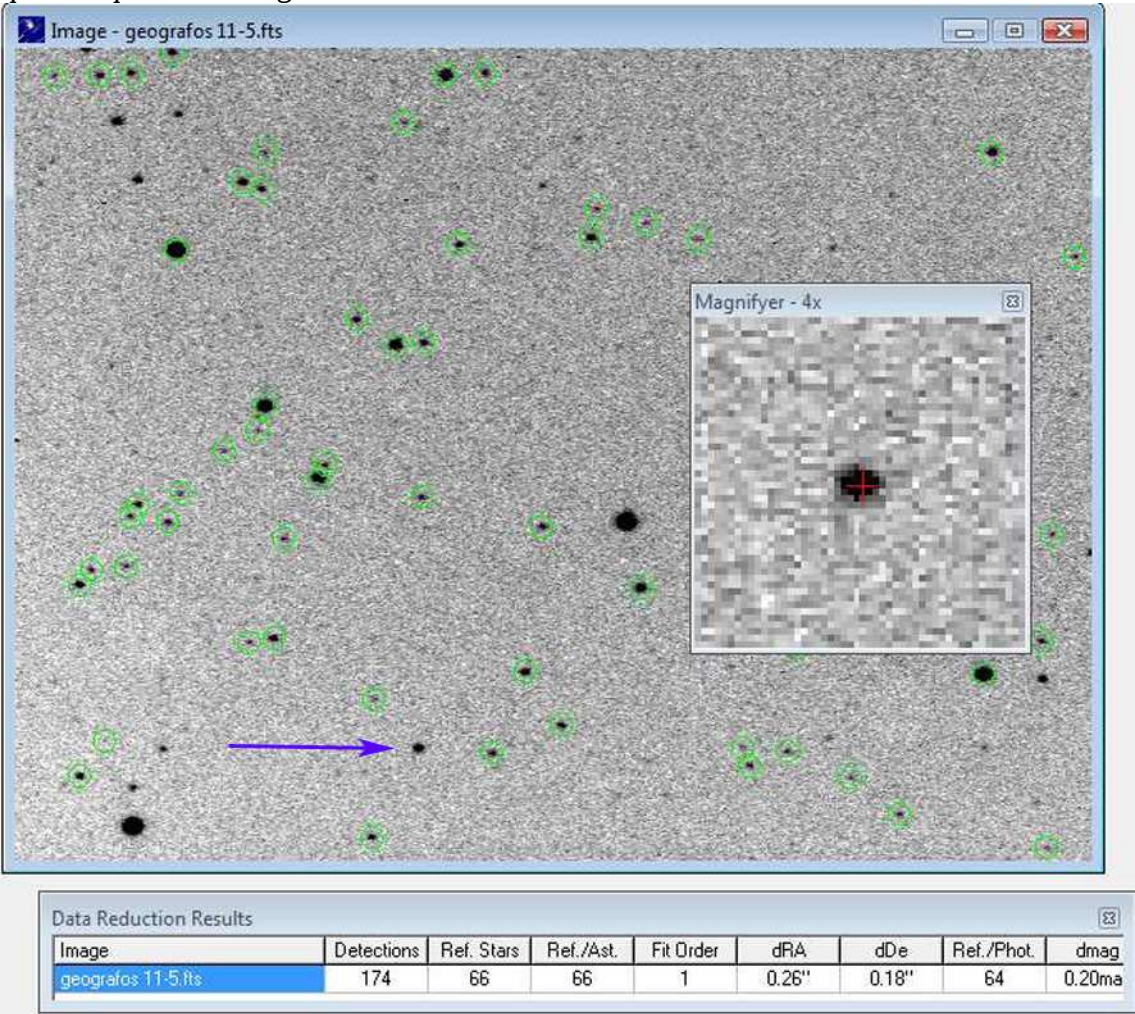
También, ahora en la barra inferior, se puede observar que el programa no solo calcula la posición x, y y distancia del píxel del cursor, sino que también calcula la posición en RA, DE y Mag. Del píxel de la imagen sobre el cual se coloque el cursor.

Image	Detections	Ref. Stars	Ref./A
geografos 11-5.fits	174	66	66

X = 0229 Y = 0340 I = 07357 RA = 07h 34m 18.82s De = -08° 37' 49.3" R = 15.2mag

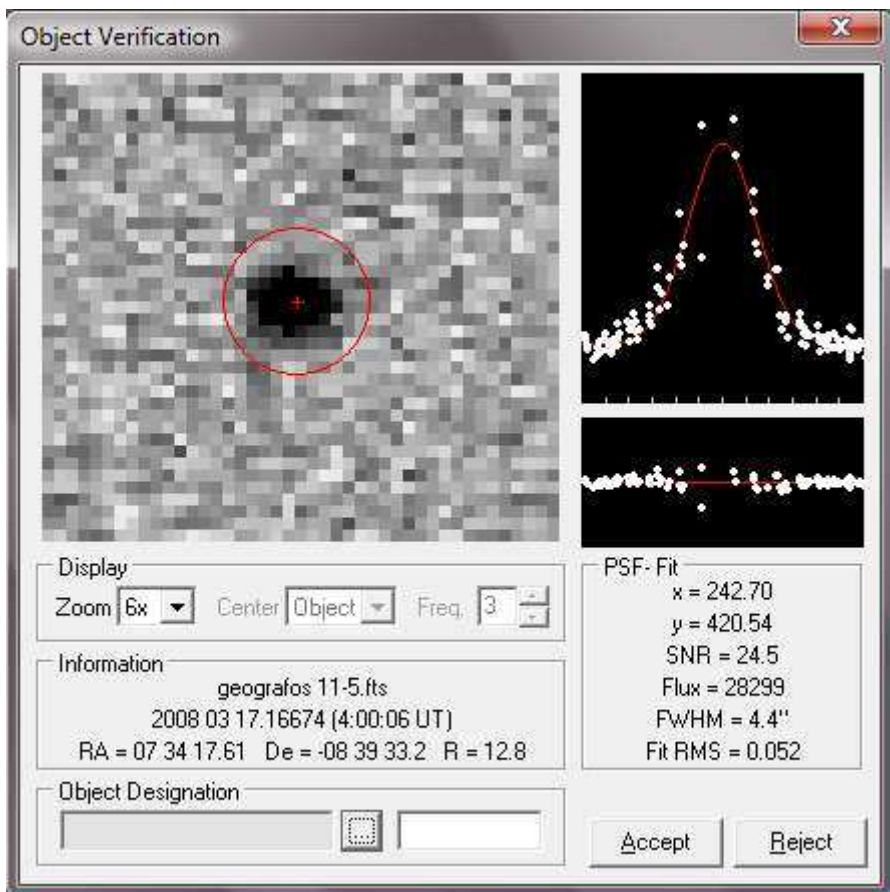
5° PASO: UBICAR AL ASTEROIDE:

Ahora queda decirle al programa cuál de los objetos es el ASTEROIDE, en este caso es el que marqué en la imagen con una flecha azul:



Como ayuda para seleccionar correctamente el objeto, se puede usar la lupa (Magnifyer) seleccionando el tercer ícono desde la derecha en la barra de herramientas.

Una vez seleccionado el supuesto asteroide, se despliega un cuadro llamado **OBJECT VERIFICATION:**



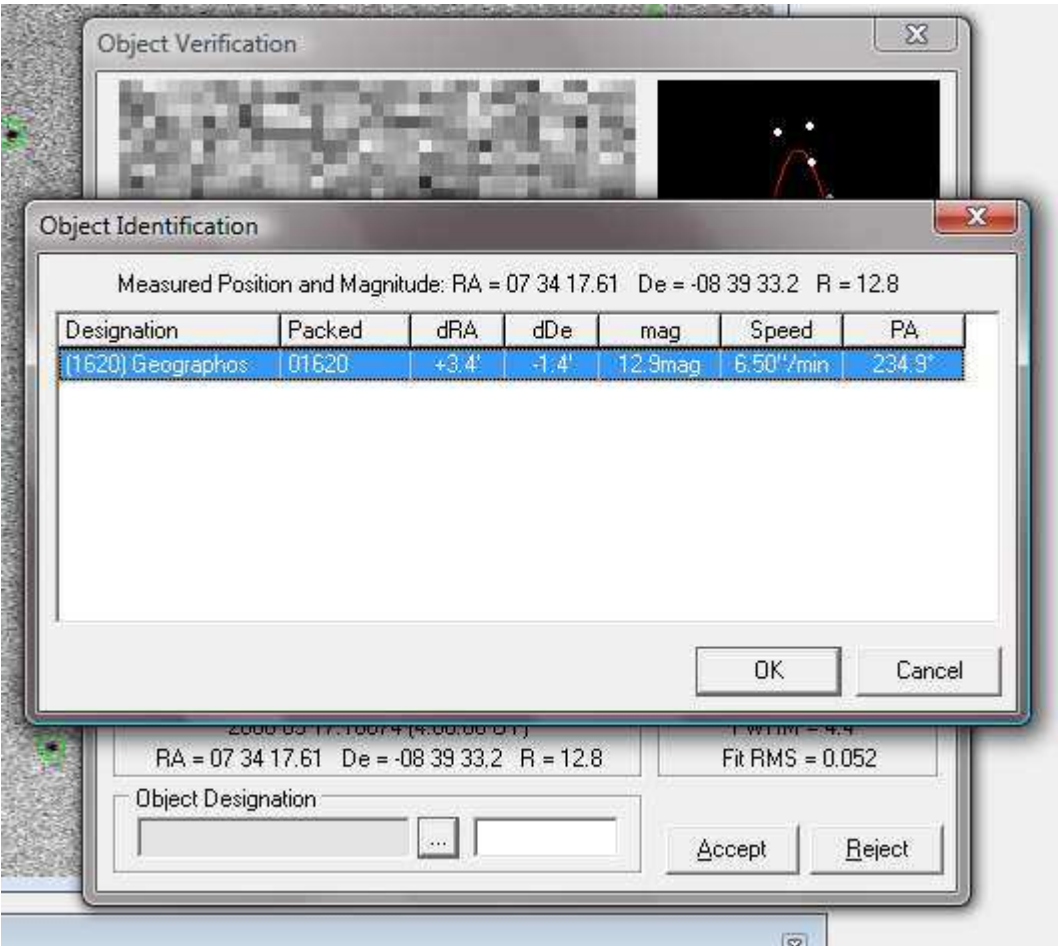
Aquí aparece la imagen ampliada del objeto; corroboramos que se haya seleccionado correctamente el centroide; debajo de ésta, bajo el título **Information**, se muestra nombre del archivo, fecha y hora de la imagen, posición medida y magnitud estimada;

A la derecha aparece el análisis del perfil del objeto seleccionado a través del **POINT SPREAD FUNCTION –PSF (Función del perfil de un punto)** y nos permite apreciar el muestreo del objeto; El PSF representa el radio de una estrella u otro objeto celeste en función del flujo (intensidad). Esto se relaciona con el FWHM que es el ancho de la función donde el flujo o intensidad (que se mide en cuentas o ADU/píxel) toma la mitad del valor máximo.

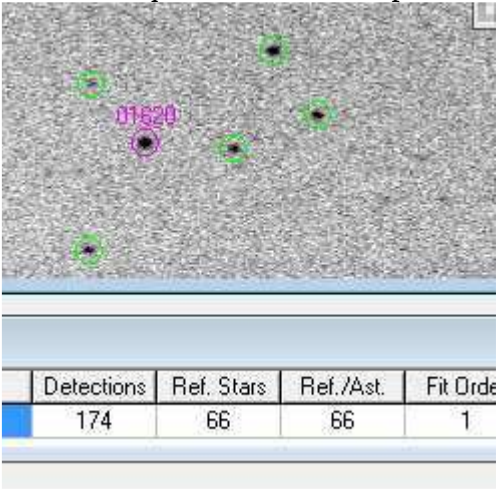
Debajo de dicha imagen aparece la posición x y y del objeto seleccionado, y los muy relevantes datos de la **RELACION SEÑAL RUIDO** (SNR: Signal to Noise Ratio) y la **FWHM** (FULL WIDTH AT HALF MAXIMUM) a que hacia referencia más arriba, y que aquí aparece medido ya en segundos de arco, y no es más ni menos que el **SEEING** propiamente dicho. Cuanto menor sea este número, mejor es el SEEING.

Es importante verificar siempre la **RELACION SEÑAL RUIDO (SNR)** del objeto, debiendo descartarse las imágenes en las que el objeto a medir tenga una SNR muy baja. Habitualmente, se recomienda no enviar medidas al MPC si la $SNR < 7$. Otros indican que una detección con $SNR = 3$ puede considerarse probablemente segura, y totalmente segura si sucede en dos o mas tomas independientes.

Queda finalmente clicar el cuadradito que aparece al lado de la ventana rotulada como **Object Designation**, y se despliega una ventana denominada **OBJECT VERIFICATION** que da la posición medida y la magnitud, y despliega los nombres de los objetos que según el archivo MPCORB se encuentran en el area.



En este caso, el único es el Asteroide 1620 Geographos, así que aceptamos su identificación presionando OK.
El objeto identificado ahora queda cargado en el cuadro de Object Designation, ponemos Accept:
Y listo, ha quedado medida la posición del asteroide.



Esta posición ha quedado automáticamente registrada en el formato de 80 líneas del MPC y se puede consultar en la ventana FILE – seleccionando View MPC report file. De contarse con un código asignado por el MPC, este es el reporte que se enviaría.

6) FUNCION BLINK (PARPADEAR)

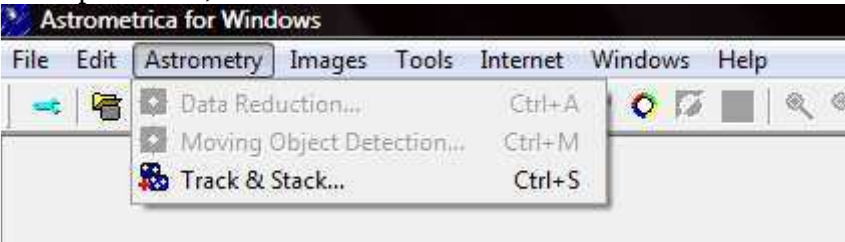
La única manera de estar seguros de que el objeto seleccionado era realmente el asteroide, es comprobar su movimiento.
Eso se puede hacer cargando dos imágenes tomadas con un intervalo de tiempo suficiente para apreciar el desplazamiento del asteroide, y utilizar la función "blink images" en la pestaña Tools (o Ctrl-B) y apreciar el desplazamiento real del asteroide.

7) FUNCION TRACK & STACK:

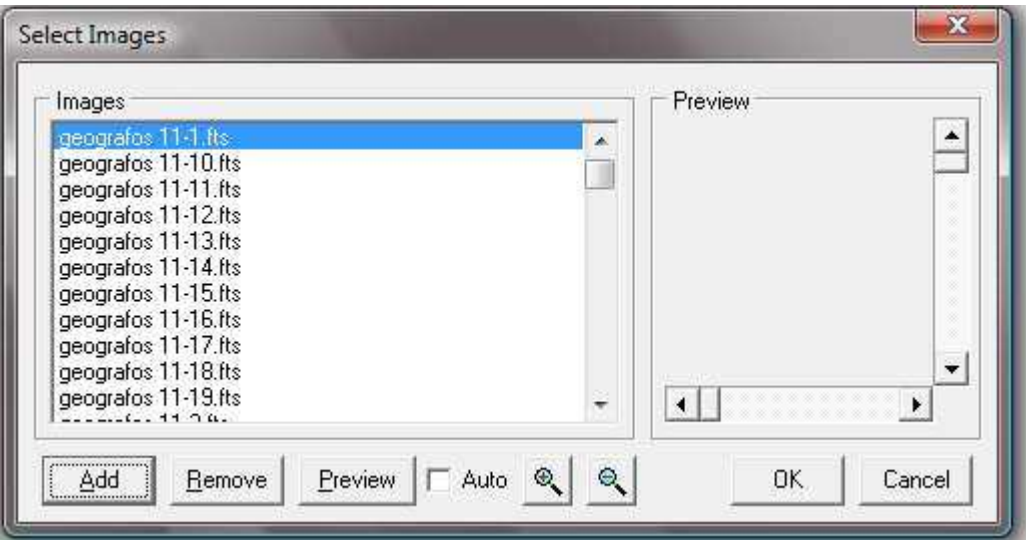
Esta función que tiene el Astrométrica es muy importante, ya que lo que hace es reducir en un primer momento una serie de imágenes de un cometa o asteroide, y luego procede a

efectuar el apilado de todas las imagenes sobre el cometa o asteroide en cuestión. A diferencia de otros programas donde se les debe marcar en cada imagen cual es el cometa (ejemplo Deep Sky Stacker), el astrométrica solo requiere que se le indique cuál es el objeto, y de la base de datos determina su velocidad y angulo de posición; después de efectuar el reconocimiento del campo estelar en las imágenes, las apila siguiendo esos parámetros (dirección y velocidad del asteroide) independientemente de su propia imagen. Esto tiene una enorme utilidad ya que permite que objetos que no aparecen en una toma individual porque por lo débiles que son no se distinguen del ruido de fondo, después de apilar sobre su posición teórica una cierta cantidad de imágenes, aparezca y/o mejore su SNR lo suficiente para poder ser medido con precisión.

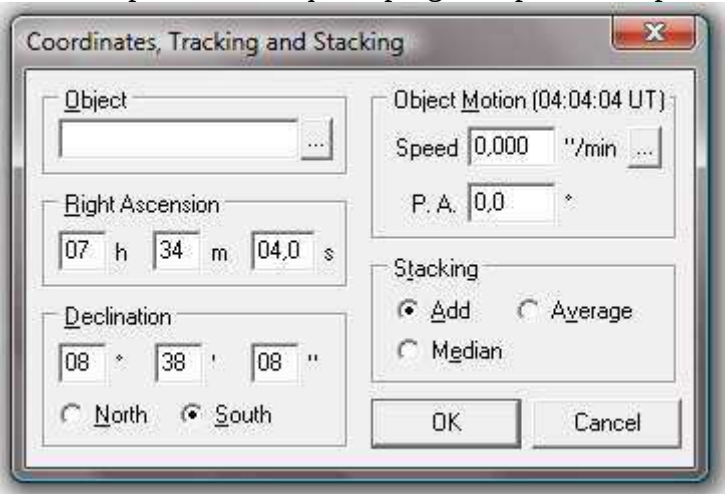
Para utilizar esta función seleccionamos en la barra de herramientas el boton correspondiente, o del menú mismo:



A continuación se seleccionan las imágenes que se desean apilar:

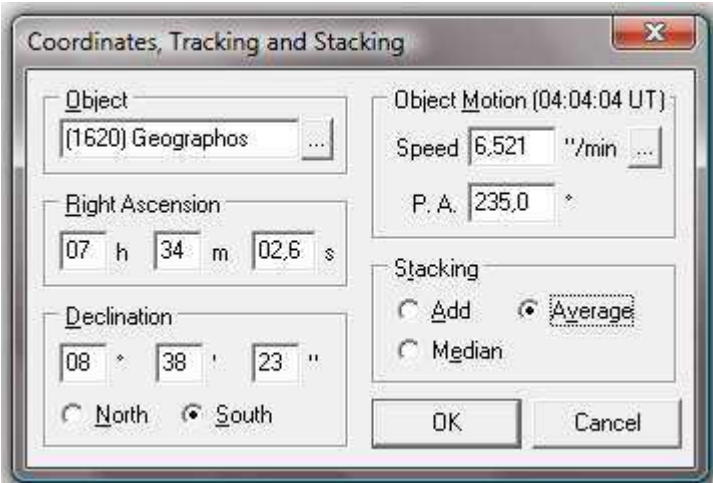


Se seleccionan todas las imágenes, y se clikea el botón de ADD. A continuación se cargan las imágenes en el programa y aparece un cuadro donde debemos identificar el objeto que vamos a apilar a fin de que el programa pueda computar su velocidad aparente y direccion:

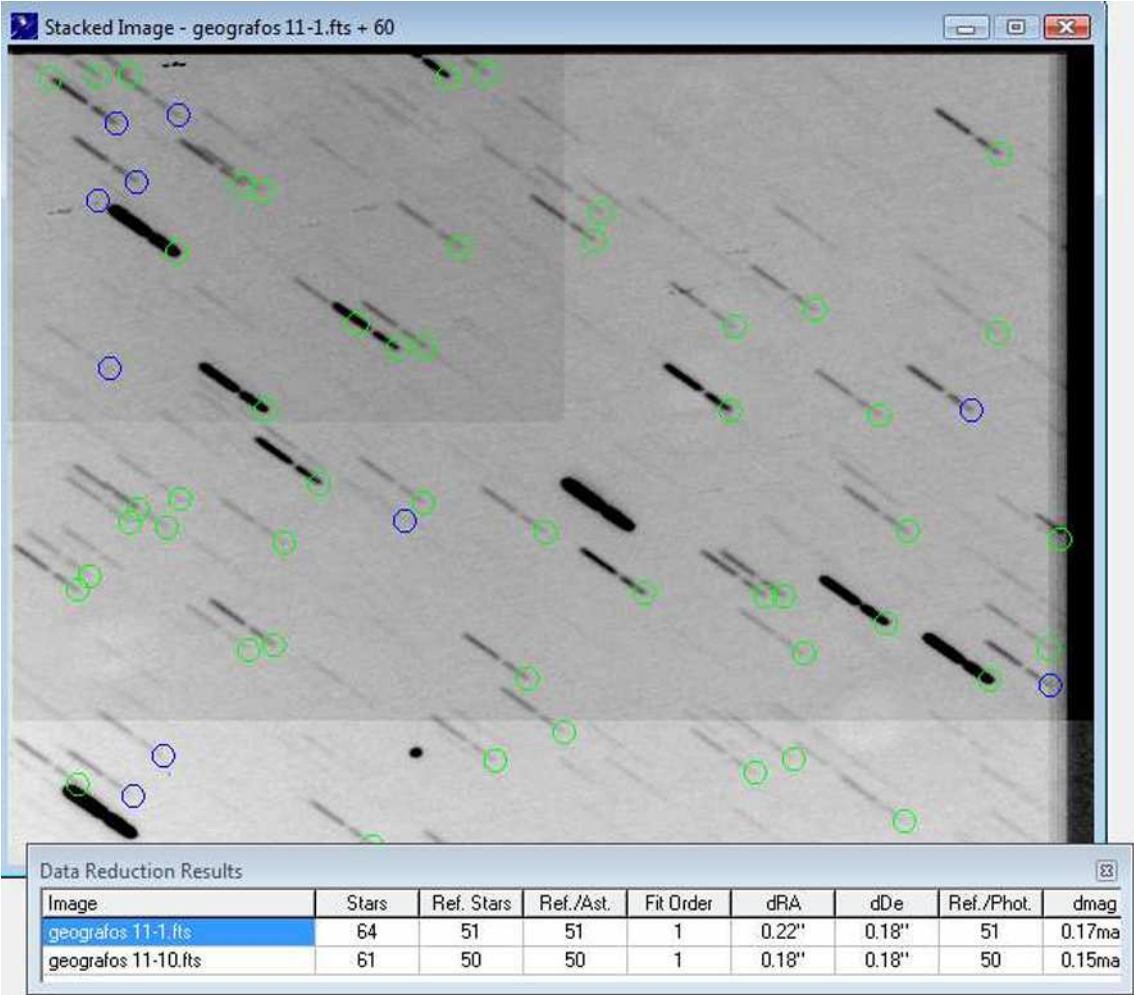


En este caso se han cargado 61 imágenes correspondientes al asteroide 1620, así que en el cuadro object se pone su designación "01620" y en la opción de Stacking seleccionamos el botón de AVERAGE para que haga un promediado.

Automáticamente vemos como el programa ha determinado de acuerdo a la base de datos que la velocidad del Geographos es de 6,521 segundos de arco por minuto, y el ángulo de posición del asteroide es 235,0°:

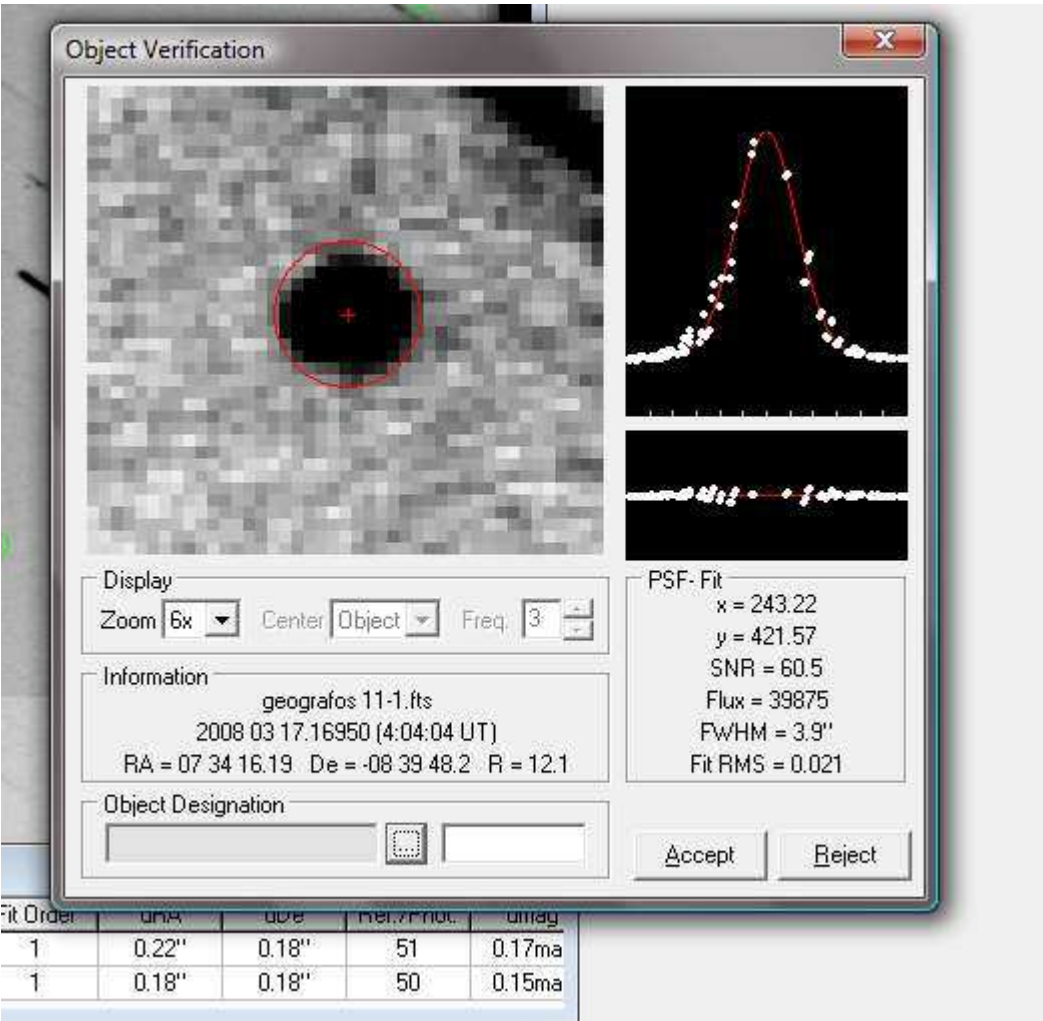


Ahora cliqueamos OK y el programa efectua una reducci3n normal sobre dos de las 61 im3genes cargadas (en este caso la 1 y la 10), reconoce el campo estelar y acto seguido procede a apilar las 61 im3genes respetando la velocidad y angulo de posici3n del cometa:



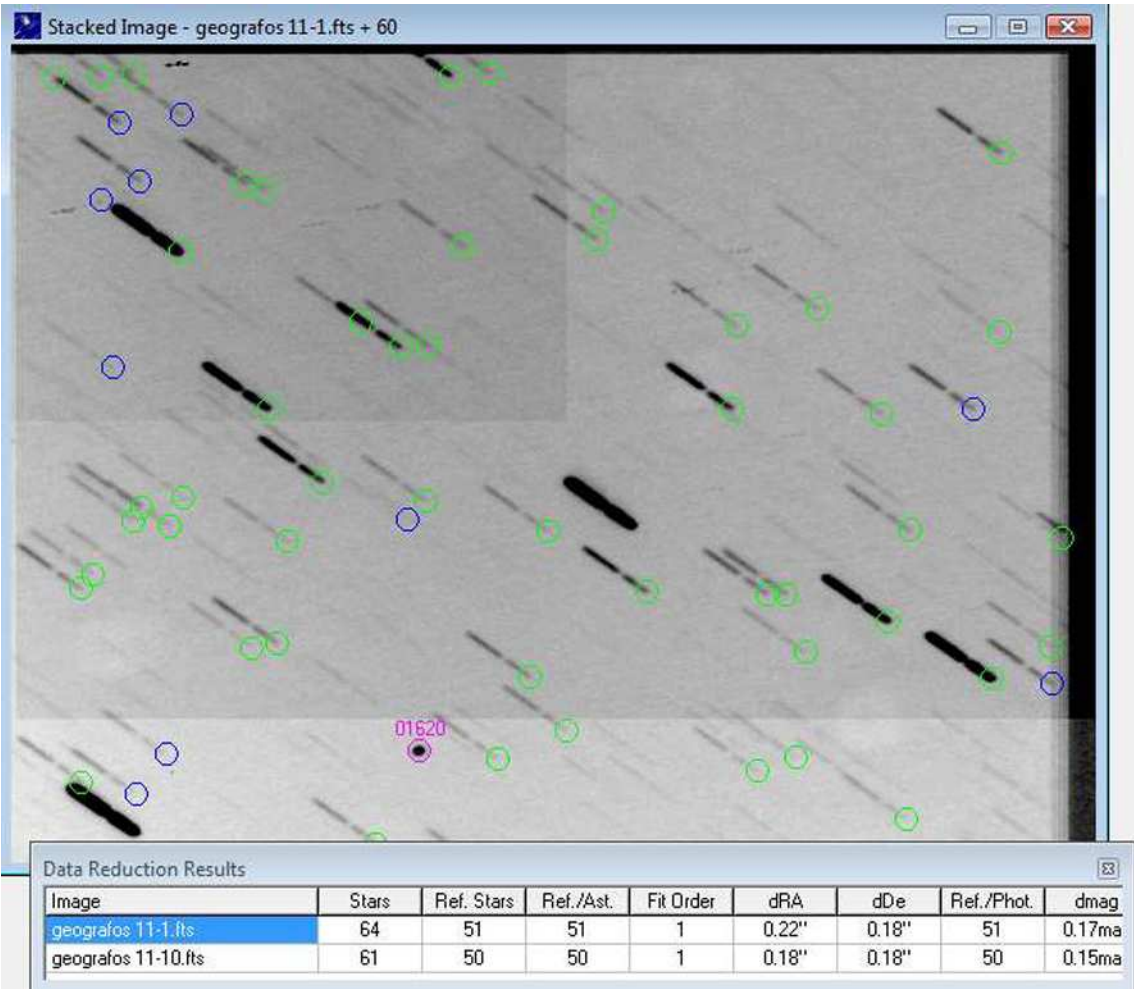
Podemos apreciar que las estrellas aparecen como un trazo equivalente al movimiento angular correspondiente al asteroide en el lapso ocurrido entre la primera y ultima imagen, y en la misma direcci3n que 3ste, mientras que 3ste aparece puntual.

Se coloca el cursor sobre el asteroide para abrir la ventana de object verification:



Se puede comparar con la obtenida en la primer parte de este tutorial en base a una sola imagen, la enorme mejoría de la relación señal ruido (SNR) que ha saltado de 24.5 a 60.5. También, la mejoría en los residuales (Fit RMS) que redundan ahora en una mayor precisión; asimismo, la campana muestra claramente un mucho mejor muestreo del asteroide, y una reducción importante del FWHM.

Para culminar, se selecciona el geografos en la ventanita inferior de Object designation, y ya queda medido y el reporte al MPC automáticamente elaborado:



El producto final son las mediciones efectuadas, que son guardadas en el formato de 80 columnas del MPC:

```
NET UCAC-2
01620 C2008 03 17.16674 07 34 17.61 -08 39 33.2 12.8 C XXX
01620 C2008 03 17.16950 07 34 16.19 -08 39 48.2 12.1 C XXX
```

La explicación de la línea es la siguiente :

- 01620 designación del asteroide
- C significa que se obtuvo mediante CCD
- 2008 03 17.166674 es la fecha con el día decimal
- 07 34 17.61 las coordenadas en Ascensión Recta
- 08 39 33.2 las coordenadas en Declinación
- 12.8C magnitud y filtro usado (la C es de Clear: sin filtro)
- XXX Código de observatorio MPC

Adjunto en este post se encuentran los archivos con las imágenes geografos 11-5.fts y geografos 11-56.fts para aquellos que les interese practicar con el astrométrica, el cual asimismo trae su propio tutorial.

Las imágenes fueron tomadas con un telescopio reflector Hokenn 200/1200 cámara DSI Pro monocromática en foco primario.