



GORA

Grupo de Observadores de Rotaciones de Asteroides

Fotometría de rotaciones de asteroides

Tercera parte: observatorios GORA

Guía teórico-práctica para astrónomos aficionados

Resumen:

Con este apunte pretendemos ayudar a los astrónomos aficionados que, contando con experiencia previa en la manipulación de instrumental astronómico, quieran iniciarse en la fotometría de rotaciones de asteroides.

Tercera parte: En este documento presentamos nuestro “Grupo de Observadores de Rotaciones de Asteroides” (GORA). Detallamos las características de los observatorios y evaluamos nuestros propios resultados buscando mejorar la calidad de nuestros trabajos.

Autores:

Carlos Colazo, Aldo Mottino, Marcos Santucho, Milagros Colazo Vinovo, Nicolás Vasconi, Ariel Stechina, César Fornari, Néstor Suarez.

02 de agosto de 2020

INDICE

Tercera parte: observatorios GORA

Página – Tema

02 – Grupo de Observadores de Rotaciones de Asteroides (GORA)

02 – Objetivos de GORA

03 – Observatorios que integran GORA

04 – Integrantes de GORA

04 – Evaluación de la producción GORA 2018-2020

05 – Objetivos de la evaluación de los trabajos realizados por GORA

05 – Relevamiento de datos

05 – Análisis de las magnitudes aparentes “V” observadas por GORA

06 – Análisis de la dispersión en las curvas de luz obtenidas por GORA

07 – Evolución de las dispersiones en curvas de luz de GORA

09 – Magnitud aparente V “teórica” de un asteroide

10 – Magnitud aparente V “medida” de un asteroide

10 – Offset de una medición

11 – Offset del observatorio

12 – Medición del offset del observatorio

13 – Procedimiento GORA para medir el offset del observatorio

13 – Offset relativo entre observatorios GORA

13 – Corrección de las magnitudes aparentes V obtenidas con fotometría relativa



Integrantes de GORA durante las reuniones en Tanti, Córdoba, y ubicación de los diferentes sitios de observación en Argentina y Uruguay.

Tercera parte: observatorios GORA

Grupo de Observadores de Rotaciones de Asteroides (GORA)

Entre los años 2009 y 2014, funcionó la “Asociación de Observatorios Argentinos de Cuerpos Menores (AOACM)”. Agrupaba a observatorios aficionados que se iniciaban en la Astrometría de cuerpos menores y en la fotometría relativa de asteroides. Confirmaciones de descubrimientos, recuperación de asteroides con alta incertidumbre orbital y medición de rotaciones de asteroides, fueron actividades desarrolladas con gran intensidad.

A principios de 2018 retomamos las observaciones, pero esta vez focalizada a una actividad en particular: la rotación de los asteroides. Es así como -con la incorporación de nuevos integrantes, nació este nuevo Grupo de Observadores de Rotaciones de Asteroides, que actualmente cuenta con varios participantes entre aficionados y profesionales, residiendo en distintas provincias de la República Argentina y en otros países, como la Rep. Oriental del Uruguay. Se cuenta además con la colaboración de un observatorio de Australia, que contribuye en ocasiones puntuales.

La actividad principal que desarrolla GORA es la determinación de períodos de rotación de asteroides. GORA se reúne 3 o 4 veces al año, en lo que denominamos workshops, con el objetivo de intercambiar experiencias, planificar y mejorar metodologías de trabajo, y por qué no, compartir lindos momentos entre los participantes. ¡A pesar de su corta vida, el grupo se siente orgulloso de los resultados alcanzados y va por más! Como actividad adicional, estamos proyectando trabajar con: ocultaciones estelares por asteroides, tránsitos de exoplanetas y estrellas variables. Todos los trabajos se coordinan y organizan en el foro de GORA, que es de libre acceso y pueden visitar en <https://aoacm.com.ar/gora>

Objetivos de GORA

1. Trabajar cooperativamente, valorando los aportes individuales, aprendiendo como grupo y mejorando las técnicas observacionales.
2. Medir períodos de rotación de asteroides con el mayor rigor científico posible, para aportarlos a las bases de datos a las que concurre la comunidad científica para hacer sus investigaciones sobre cuerpos menores del sistema solar.
3. Promover la observación de variabilidades similares en otros eventos astronómicos frecuentes, que también dejan improntas puntuales en las imágenes, y que son accesibles para astrónomos aficionados: estrellas variables, tránsitos de exoplanetas y ocultaciones asteroidales.

Fotometría de rotaciones de asteroides

Observatorios que integran GORA

En el listado que se acompaña puede tenerse dimensión del número y diversidad de observatorios, tanto en lo referente a la distribución geográfica como de equipos. Diferentes tipos de telescopios, así como calidad y tamaño de los sensores utilizados, demuestran que no existen mayores limitaciones para participar en esta actividad y para integrarse al grupo. Algunas pautas mínimas y mucho entusiasmo son el denominador común para iniciarse en la actividad.

821 - Estación Astrofísica Bosque Alegre (MPC 821)

821 - Telescopio Newtoniano (D=1540mm; f=4.9) + CCD APOGEE Alta U9

822 - Observatorio Astronómico Córdoba (MPC 822)

822 - Telescopio Celestron SCT14 (D=355mm; f=11.0) + Reductor focal + CCD SBIG ST7

I19 - Observatorio Astronómico El Gato Gris (MPC I19)

I19 - Telescopio Celestron SCT14 (D=355mm; f=10.6) + CCD SBIG STF8300

I39 - Observatorio Cruz del Sur (MPC I39)

I39 - Telescopio Newtoniano GSO 8" (D=200mm; f=4.0) + CMOS Qhy174

X14 - Observatorio Orbis Tertius (MPC X14)

X14 - Telescopio Newtoniano (D=200mm; f=5.0) + CCD QHY6 Mono

X31 - Observatorio Galileo Galilei (MPC X31)

X31 - Telescopio RC Third Planet Optics (D=405mm; f=8.0) + CCD SBIG STF8300M

X39 - Observatorio Antares (MPC X39)

X39 - Telescopio Newtoniano (D=250mm; f=5.0) + CCD QHY9 Mono

OAC - Observatorio Astronómico Calchaquí

OAC - Telescopio GSO RC8 (D=203mm; F=8.0) + CCD SBIG ST7 XME

OAM - Observatorio de Aldo Mottino

OAM - Telescopio Newtoniano (D=250mm; f=4.7) + CCD SBIG STF8300

OAP - Observatorio Astro Pulver

OAP - Telescopio Celestron SCT8 (D=203mm; f=7.0) + CMOS QHY5 LII M

OAS - Observatorio de Ariel Stechina 1

OAS - Telescopio Newtoniano (D=254mm; f=4.7) + CCD SBIG STF402

OA2 - Observatorio de Ariel Stechina 2

OA2 - Telescopio Newtoniano (D=305mm; f=5) + CMOS QHY 174M

OCC - Observatorio Candela Celeste

OCC - Telescopio Meade LX200 (D=300mm; f=10.0) + CCD Meade DSI 1

ODS - Observatorio de Damián Scotta

ODS - Telescopio Newtoniano (D=300mm; f=4.0) + SBIG St-402 XME

Fotometría de rotaciones de asteroides

OMP - Observatorio Astronómico de Moquegua

OMP - Telescopio Ritchey Chretien APM (D=1000mm; f=8) + CCD FLI ProLine 16803

OM2 - Observatorio Astronómico de Moquegua

OM2 - Telescopio Meade ACF (D=355mm; f=10) + CMOS ZWO178MM-Cool

OPA - Observatorio Punto Azul

OPA - Telescopio Newtoniano (D=254mm; f=5.0) + CCD QHY6 Mono

OSB - Observatorio de Sergio Babino

OSB - Telescopio Astrotech RC8 (D=203mm; F=8.0) + CCD SBIG STF8300M

OSC - Observatorio Astronómico Municipal de San Cristóbal

OSC - Telescopio Newtoniano (D=200mm; f=5.0) + CCD Hokenn M Solar System Imager

RMG - Observatorio de Raúl Melia

RMG - Telescopio Celestron-Byers SCT (D=200mm; f=10.0) + CCD Meade DSI Pro II

Integrantes de GORA

Aldo Mottino; Andrés Chapman; Ariel Stechina; Carla Girardini; César Fornari; Claudio Pittari; Damián Scotta; Daniela Arias; Eduardo José Medina; Eduardo Pulver; Elisa Rodríguez; Erick Meza Quispe; Guillermo Amilibia; Guillermo Ferrero; Horacio Medina; José García; Leonela Barreto; Marcos Anzola; Marcos Santucho; Marcos Zapata; Marina Tornatore; Matías Martini; Milagros Colazo; Néstor Suarez; Nicolas Vasconi; Raúl Melia; Ricardo Llanos; Ricardo Nolte; Sergio Babino; Sergio Galarza; Sergio Morero

Evaluación de la producción GORA 2018-2020

En junio de 2020 hicimos una evaluación del trabajo que realizamos en GORA desde el 07/03/2018 al 13/06/2020 con el acumulado de 253 curvas de luz de 18 asteroides.

Contamos con una rica base de datos de observaciones, todas realizadas con diferentes aperturas de telescopios. Esa información resultó suficiente para conocer las características de nuestra forma de trabajar, detectar debilidades y proponer mejoras aplicables a futuros trabajos del Grupo de Observadores de Rotaciones de Asteroides.

Construimos gráficos denominados “Desviación estándar de dispersión – Magnitud aparente V del asteroide” agrupando las observaciones realizadas con telescopios del mismo diámetro.

Analizamos la dispersión (desviación estándar) de todas las curvas y relacionamos ese dato con la magnitud del asteroide en el momento en el que se hizo esa observación.

Las curvas de luz que analizamos constituyen la Base de Datos GORA y fueron aportadas por los observatorios:

10 curvas - 821 - Estación Astrofísica Bosque Alegre (D=154 cm)

Fotometría de rotaciones de asteroides

68 curvas - X31 - Observatorio Galileo Galilei (D=40 cm)
06 curvas - 822 - Observatorio Astronómico Córdoba (D=35 cm)
37 curvas - I19 - Observatorio Astronómico El Gato Gris (D=35 cm)
11 curvas - ODS - Observatorio de Damián Scotta (D=30 cm)
30 curvas - OAM - Observatorio de Aldo Mottino (D=25 cm)
28 curvas - OAS - Observatorio de Ariel Stechina (D=25 cm)
08 curvas - OPA - Observatorio Punto Azul (D=25 cm)
20 curvas - X39 - Observatorio Antares (D=20 cm)
03 curvas - I39 - Observatorio Cruz del Sur (D=20 cm)
07 curvas - X14 - Observatorio Orbis Tertius (D=20 cm)
16 curvas - OAP - Observatorio Astro Pulver (D=20 cm)
09 curvas - RMG - Observatorio de Raúl Melia (D=20 cm)

Objetivos de la evaluación de los trabajos realizados por GORA

Con esta evaluación, nos propusimos:

1. Mejorar la planificación de las observaciones de asteroides que realiza GORA.
2. Aprovechar los recursos disponibles en los observatorios que integran GORA, de manera eficiente.
3. Facilitar la toma de decisiones de los observadores, especialmente cuando tienen dudas sobre las posibilidades de observar o no un asteroide, teniendo en cuenta:
 - La magnitud del asteroide.
 - El equipo disponible.
 - La dispersión de la curva de luz.
4. Definir límites de dispersión en curvas de luz, para que se disponga de datos de calidad al momento de construir los diagramas de fases.

Relevamiento de datos

Los pasos que seguimos en la evaluación fueron los siguientes:

1. Obtuvimos la magnitud aparente V del asteroide para las fechas de cada curva de luz, utilizando el servicio de efemérides del Minor Planet Center.
2. Calculamos la desviación estándar de dispersión de cada una de las curvas de luz.
3. Discriminamos los datos de cada curva (magnitud del asteroide y dispersión), teniendo en cuenta a qué observatorio pertenece esa información.
4. Construimos un gráfico “Desviación estándar de dispersión – Magnitud aparente V del asteroide”

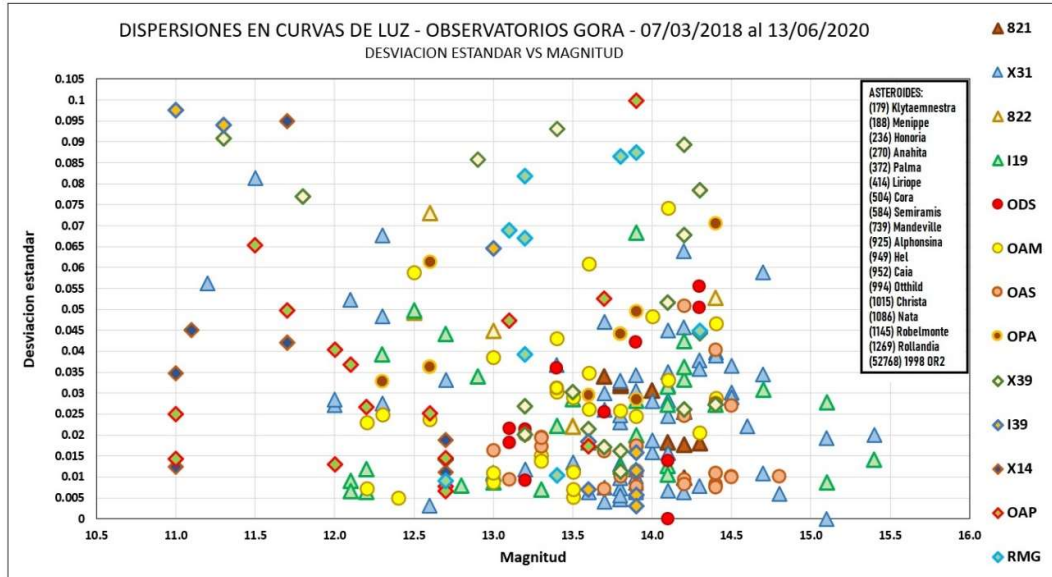
Análisis de las magnitudes aparentes “V” observadas por GORA

La magnitud límite observable para asteroides depende de muchos factores: del sitio de observación, del sensor, de la óptica, etc. A efectos de simplificar, decidimos definir la magnitud límite observable en función solamente del diámetro del telescopio, porque es el factor más importante a considerar.

Fotometría de rotaciones de asteroides

Confrontamos la magnitud límite teórica “V” de referencia para diferentes aperturas de telescopios (obtenidas de las guías para observadores del Minor Planet Bulletin), con las magnitudes observadas por GORA.

Observamos que las observaciones GORA llegan hasta los límites de referencia de magnitudes para diferentes equipos. En ocasiones con buenas condiciones meteorológicas y astronómicas, se superan esos límites de magnitud, obteniendo dispersiones suficientemente bajas.



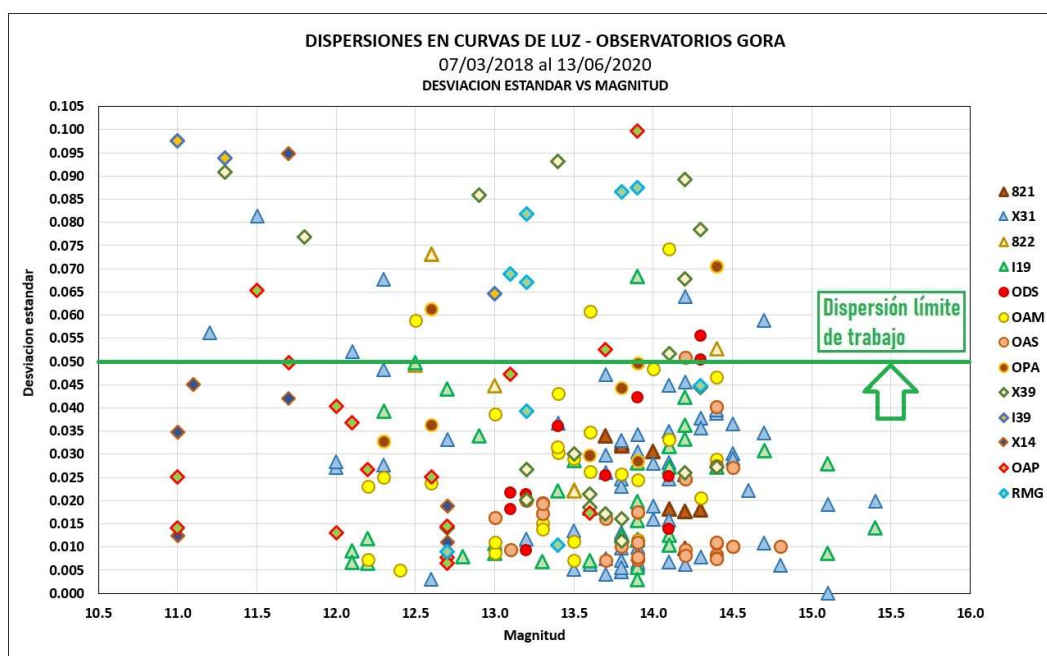
Desviación estándar de dispersión – Magnitud aparente V del asteroide

Análisis de la dispersión en las curvas de luz obtenidas por GORA

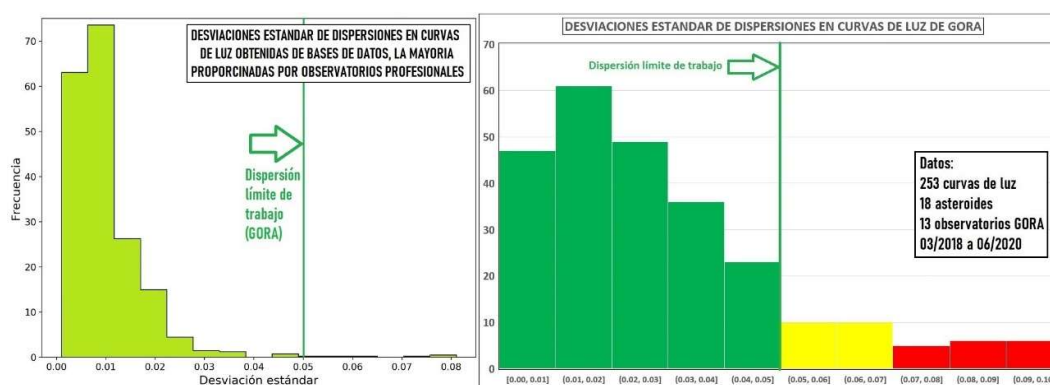
En el gráfico “Desviación estándar de dispersión – Magnitud aparente V del asteroide”, se observan rangos de dispersión en los que la totalidad de los observatorios demuestran tener la capacidad para aportar curvas de luz de mayor calidad, por lo que surge la posibilidad de acotar los rangos de dispersión para futuros trabajos de GORA.

Definimos un parámetro límite de dispersión en curvas de luz que tendremos como referencia en cada observación que hemos denominado “Dispersión límite de trabajo”. El objetivo es el de controlar las desviaciones estándar en los trabajos que reportaremos a futuro y trataremos de evitar que superen una desviación estándar de dispersión de S.D. = 0.05 magnitudes.

Fotometría de rotaciones de asteroides



Los reportes que tengan desviaciones estándar superiores 0.05 deberían ser recibidos y evaluados para casos en los que resulte conveniente su inclusión en el diagrama de fases que se construya para la determinación del periodo de rotación del asteroide, especialmente cuando se dispone de pocos reportes para cerrar el análisis del periodo.

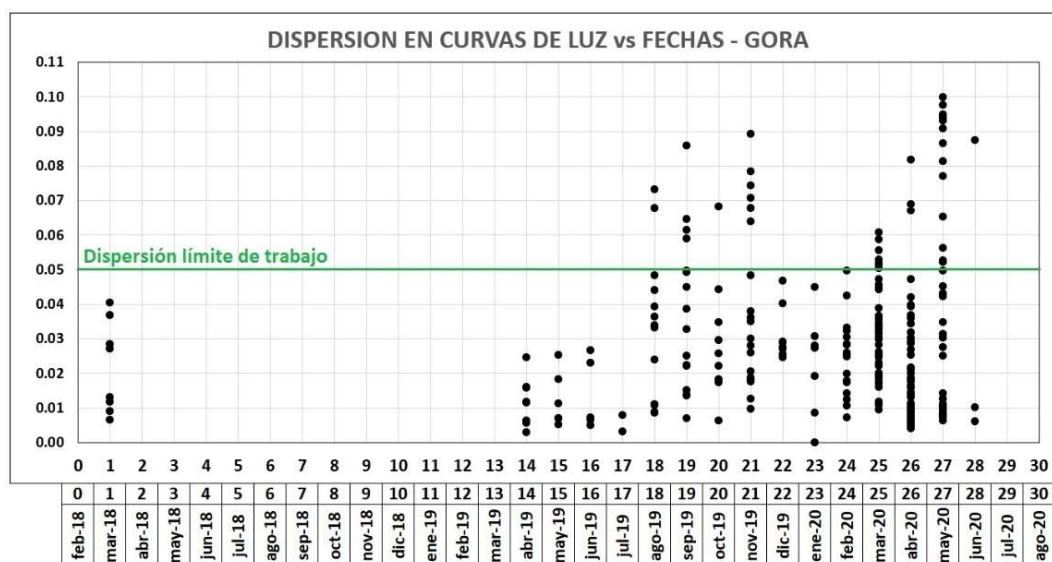


Evolución de las dispersiones en curvas de luz de GORA

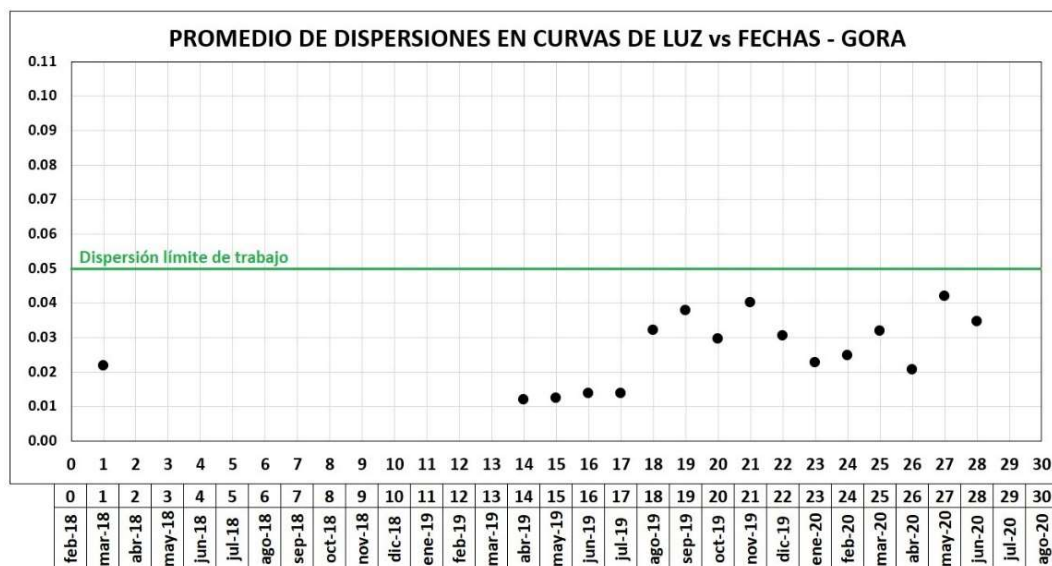
En el gráfico de la página siguiente “Dispersión en curvas de luz vs Fechas” se observa que existe un incremento de las dispersiones en las curvas de luz a medida que pasa el tiempo. Ocurre que los observadores cuentan cada vez con mayor experiencia en el dominio de las técnicas de la fotometría y configuran mejor sus equipos, sin embargo, buscan observar objetos cada vez más débiles para los equipos de los que disponen.

Fotometría de rotaciones de asteroides

El bajo brillo relativo de los nuevos objetivos de observación, hace que se exploren los límites de capacidad de esos equipos, algo que se manifiesta en las mayores dispersiones en las curvas de luz de los asteroides observados recientemente.



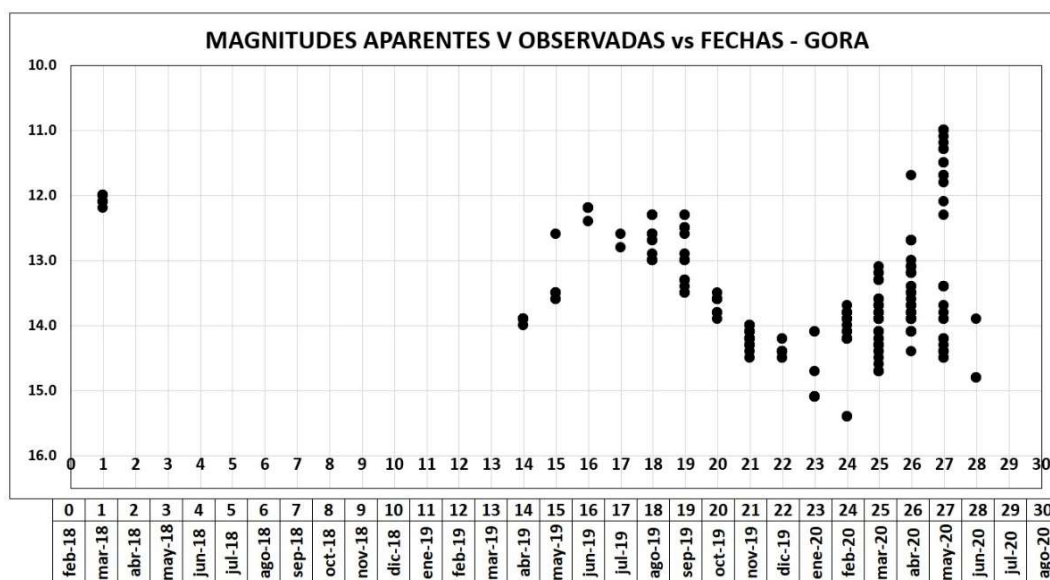
El promedio de las dispersiones se mantiene dentro de valores razonables, lo que demuestra que muchas observaciones recientes tuvieron muy bajas dispersiones.



En el gráfico “Magnitudes aparentes V observadas vs Fechas” se observa que los brillos de los asteroides observados fueron fluctuando entre las magnitudes 11 y 16 a medida que pasaba el tiempo. Esto es así, porque siempre seleccionamos objetos brillantes para sostener la participación de equipos más pequeños.

Fotometría de rotaciones de asteroides

La implementación del parámetro “Dispersión límite de trabajo” permitirá explorar brillos débiles, pero acotando las dispersiones y tratando que estas no superen el parámetro de referencia para no deteriorar la calidad de las curvas de luz.



Magnitud aparente V “teórica” de un asteroide

El servicio de efemérides del MPC provee la magnitud aparente V teórica del asteroide para un momento determinado. Con mayor precisión también lo provee el el servicio de efemérides del JPL's HORIZONS system.



Para el cálculo de la magnitud, aparente V teórica se tienen en cuenta los siguientes factores:

- Se supone que el asteroide esférico.
- Se supone que el albedo es idéntico en toda su superficie:
- La iluminación que recibe el asteroide luego de recorrer la distancia que lo separa desde el Sol.

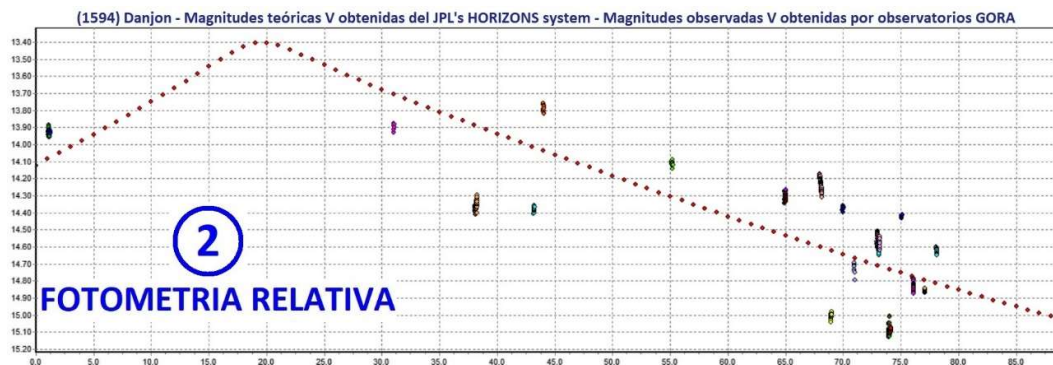
Fotometría de rotaciones de asteroides

- La reflexión de la luz en la superficie del asteroide, de acuerdo al valor del albedo y al tamaño estimado del asteroide en base a datos acumulados hasta ese momento.
- La luz que llega a la Tierra luego de recorrer la distancia entre el asteroide y la Tierra.
- La fase del asteroide en su translación, según el ángulo de fase que corresponda a esa posición.

Magnitud aparente V “medida” de un asteroide

La magnitud aparente V “medida” es la que obtiene el observador con imágenes del observatorio y aplicando fotometría relativa. La magnitud medida se logra comparando el flujo del asteroide con estrellas del entorno cuyas magnitudes son conocidas.

Esta magnitud aparente V medida refleja los mismos factores que definimos para la magnitud aparente V teórica, pero se le suma el efecto de la rotación “real” del asteroide. Si el asteroide fuese esférico y de albedo idéntico en toda su superficie, entonces las dos magnitudes “teórica” y “medida” deberían coincidir. Como la característica de los asteroides es justamente que no son esféricos y no tienen idénticos albedos en toda su superficie, lo frecuente es que la magnitud medida no coincida con la magnitud teórica y que esos valores obtenidos oscilen alternativamente hacia magnitudes más brillantes y más débiles que las teóricas.



Offset de una medición

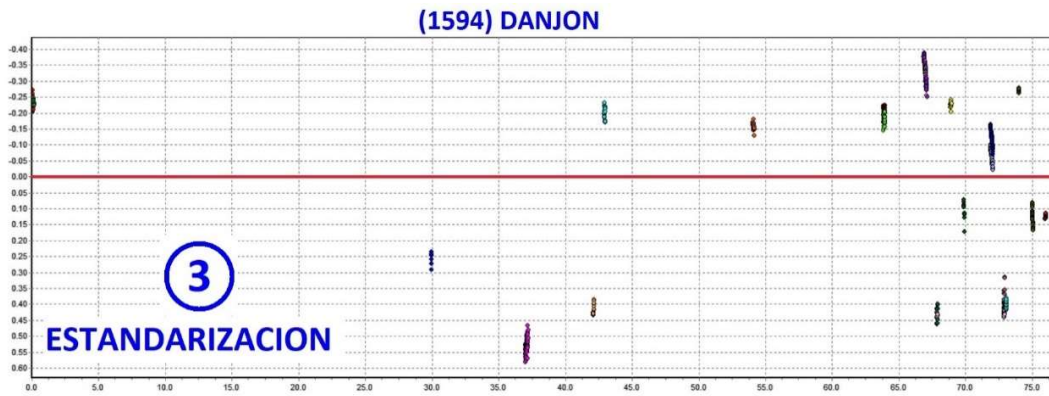
Llamaremos “offset de una medición” a la diferencia entre: la magnitud aparente V medida y la magnitud aparente V teórica del asteroide.

$$\text{Offset de una medición} = \text{Magnitud aparente V medida} - \text{Magnitud aparente V teórica}$$

- Offset de una medición > 0: indica que las medidas del observatorio dan valores mayores (menor brillo) que las magnitudes que corresponden por catálogo.
- Offset de una medición < 0: indica que las medidas del observatorio dan valores menores (mayor brillo) que las magnitudes que corresponden por catálogo.

Fotometría de rotaciones de asteroides

Al obtener los offset en todas las mediciones obtenidas, se obtiene una estandarización de los datos logrados con la fotometría relativa. Lo deseable es que estos offset de las mediciones sean atribuidos solamente a la rotación del asteroide. Si ello fuese así, entonces se pueden utilizar estos datos para obtener el periodo de rotación del asteroide.



Offset del observatorio

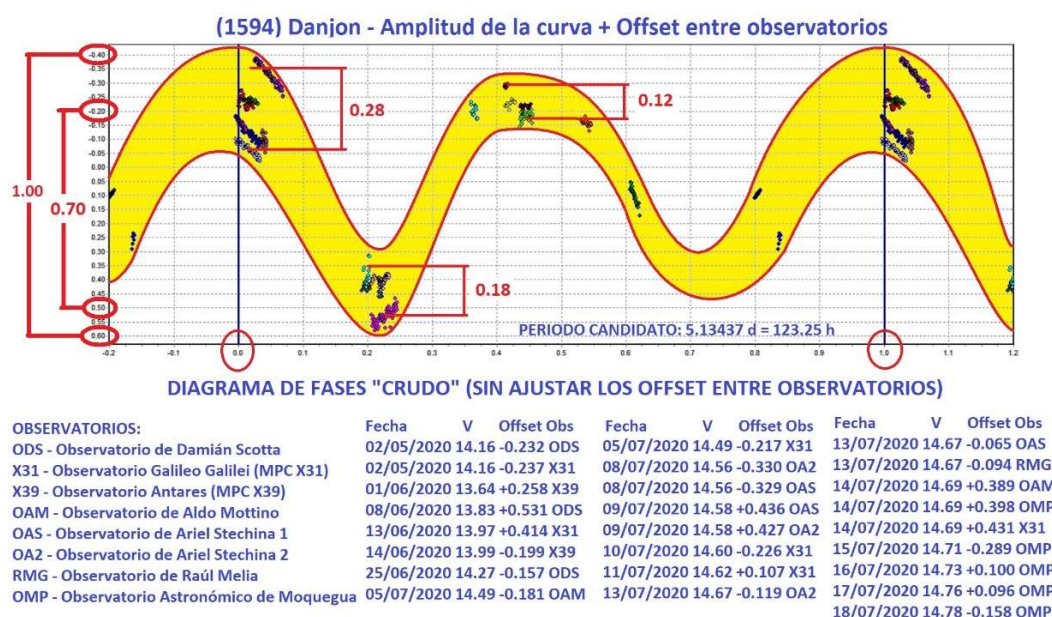
Lamentablemente, el offset de una medición está determinado no sólo por la variación de brillo del asteroide debido a su rotación, también se introducen errores de lectura propias de cada observatorio y que llamaremos “offset del observatorio”.

El offset del observatorio es causado por múltiples razones, entre las que podemos mencionar:

- No uso de filtros: Los catálogos de estrellas almacenan datos de magnitudes aparentes medidas con filtros que corresponden a determinados rangos de longitudes de onda. Al no usar filtros, el flujo de luz de esas mismas estrellas es ahora afectado por longitudes de onda que modifican el flujo que debería ser registrado.
- Eficiencia cuántica de los sensores: cada sensor tiene eficiencia cuántica diferente para iguales valores de longitudes de onda. Si se trabaja sin filtros, para una misma estrella se pueden obtener valores diferentes si se utilizan sensores diferentes.
- Características del sitio: las contaminación lumínica y aerosoles, humedad, etc. también inciden modificando la medición. En un mismo sitio, esas condiciones pueden variar noche a noche.
- Características ópticas: las reflexiones y refracciones de la luz en los diferentes componentes del instrumental actúan como filtros que alteran la luz recibida.

Conocer el offset del observatorio permite corregir los offset de las mediciones obtenidas con fotometría relativa y con ellos poder medir con mayor precisión el periodo de rotación del asteroide.

Fotometría de rotaciones de asteroides



En el gráfico anterior, las curvas de luz del rotador lento (1594) Danjon, se localizan dentro de la zona amarilla cuyo ancho es ocasionado por las diferencias entre los offset de los observatorios. Si todos los observatorios tuviesen offset nulos, esas curvas se solaparían o se localizarían de tal modo que la franja amarilla sería muy delgada. En este caso se observa que los offset relativos entre observatorios GORA oscilan entre 0.10 y 0.30 magnitudes, aproximadamente.

Medición del offset del observatorio

Si se admite que los factores que determinan el offset permanecen constantes en el tiempo, y que la luz que recibimos de todos los asteroides tiene características similares, dentro de un rango no muy amplio de longitudes de onda, entonces el offset del observatorio debería ser más o menos constante para diferentes noches.

El offset del observatorio se puede obtener promediando un número significativo de offset de mediciones, en base a observaciones sobre un objeto del que se conoce bien su magnitud aparente "V". Entonces:

$$\text{Offset de cada medición} = \text{Magnitud aparente V medida} - \text{Magnitud aparente V teórica}$$

$$\text{Offset del observatorio} = \text{promedio de offset de mediciones de una noche}$$

Fotometría de rotaciones de asteroides

Procedimiento GORA para medir el offset del observatorio

Para obtener el offset del observatorio es necesario elegir la “fuente luminosa patrón” de la que se conozca bien su magnitud aparente “V” y un conjunto de estrellas de calibración en su entorno accesibles a todos los observatorios GORA.

Para poder hacer de forma eficiente esa tarea que insumirá algunas semanas de observación, necesitaremos que la fuente luminosa patrón no se desplace, y es por eso que elegiremos como “candela” a una estrella con índice de color similar a la de los asteroides y con brillo accesible a todos los observatorios GORA. Esa fuente luminosa patrón puede ser una estrella de magnitud $V = 13.5$ accesible para los equipos pequeños. Todos los observatorios deberán medir la estrella aplicando fotometría relativa y teniendo en cuenta estos requisitos:

- Estrella patrón: tendrá magnitud aparente $V = 13.5$ con una declinación entre -30° y -32° para que se la observe próxima a la culminación.
- Estrellas de calibración: se seleccionarán cuatro o más estrellas utilizando SeqPlot (identificadas con color verde) del entorno de la estrella patrón. La diferencia de magnitud entre la estrella patrón y las estrellas de calibración no superaran las 0.5 magnitudes. Se proveerá una carta de identificación.
- Cantidad de imágenes en cada noche: 30 o más imágenes.
- Tiempo de exposición: 2 minutos o más.
- Cantidad de noches: 10 noches diferentes.
- Offset: se calculará un offset del observatorio por cada noche.
- Hora de la observación: durante la culminación de la estrella patrón.
- Período de observación: a lo largo de un mes (a definir).

Offset relativo entre observatorios GORA

Llamaremos “offset relativo entre observatorios” a la diferencia entre el offset de un observatorio cualquiera y el offset del observatorio de referencia.

Offset relativo entre obs. = Offset de un obs. cualquiera - Offset del obs. de referencia

Una vez obtenidos los offset de todos los observatorios, se calcularán los offset relativos de los observatorios con respecto a un observatorio en particular, tomándolo como referencia.

Se confeccionará una tabla que permita encontrar todos los offset relativos entre observatorios, con respecto de uno que se elija de referencia.

Corrección de las magnitudes aparentes V obtenidas con fotometría relativa

El programa Períodos tiene la capacidad de afinar la corrección de las magnitudes aparentes V de los asteroides, utilizando los offset entre observatorios. Lo hace de la siguiente manera:

Fotometría de rotaciones de asteroides

- Toma como referencia a la curva de luz con la primera fecha del conjunto de observaciones.
- Corrige las demás curvas de luz aplicando el offset relativo de los observatorios que aportaron curvas con respecto al observatorio de la primera curva.
- Estandariza las magnitudes aparentes V corregidas, haciendo la reducción a la escala absoluta de magnitudes de los asteroides conocida con el nombre de “Magnitud reducida V”.