



GORA

Grupo de Observadores de Rotaciones de Asteroides

Fotometría de rotaciones de asteroides

Primera parte: fotometría de asteroides

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.

Primera parte: contiene conceptos básicos sobre la rotación de los asteroides que ayudan a entender cómo se los observa y qué aspectos debe tener en cuenta un observador antes de iniciarse en esta actividad. También explicamos las técnicas fotométricas accesibles para aficionados.

Autores:

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

29 de agosto de 2020

INDICE

Primera parte: fotometría de asteroides

Página – Tema

02 – Las formas de los asteroides

02 – La luz que vemos de los asteroides

03 – Rotación y variación del brillo de los asteroides

04 – Condiciones astronómicas para observar asteroides

06 – Épocas con dificultades para observar asteroides

07 – Limitaciones técnicas y del sitio para observar asteroides

07 – Las fases de los asteroides

09 – Ángulo de aspecto

10 – Curvas de luz de rotaciones de asteroides

11 – Fotometría CCD

12 – Uso de la fotometría -diferencial y relativa- en GORA

13 – Magnitud aparente “V” obtenida con fotometría relativa

14 – Estandarización de datos obtenidos con fotometría relativa

15 – Análisis del período – Diagrama de promedios de residuos de dispersión

16 – Diagrama de fases

17 – Dificultades para medir períodos largos de rotación con fotometría diferencial

18 – Vinculación de noches consecutivas

19 – Selección del procedimiento para el análisis de períodos

20 – Comunicación del período de rotación a la comunidad científica

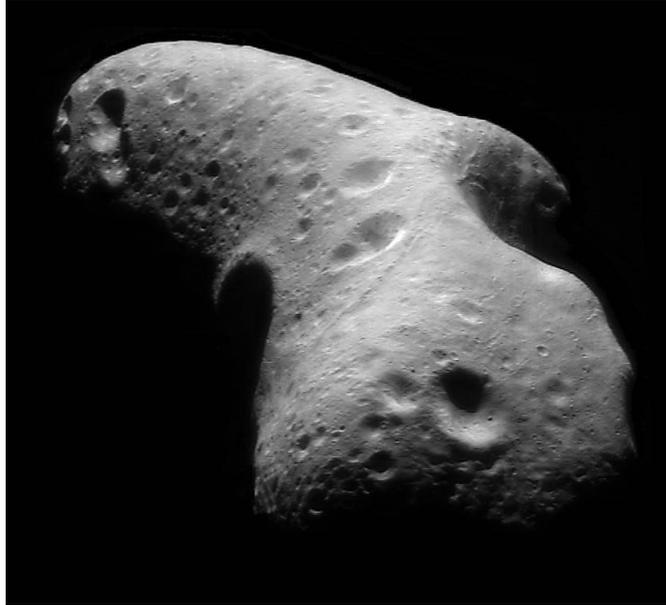


Integrantes de GORA durante las reuniones en Tanti, Córdoba, y ubicación de los diferentes sitios de observación en Argentina y Uruguay.

Primera parte: fotometría de asteroides

Las formas de los asteroides

Los asteroides son cuerpos menores del Sistema Solar. Por su poca masa, las fuerzas gravitatorias en su interior son tan débiles que no logran vencer la rigidez de sus componentes sólidos, algo que sí ocurre en cuerpos grandes (planetas).



Asteroide (433) Eros - Imagen tomada por la sonda espacial NEAR Shoemaker (29/02/2010)

Como las fuerzas gravitatorias son radiales (dirigidas al centro del astro), los materiales que componen a los planetas se deforman hasta que el astro adquiere una forma más o menos esférica. Al ser insuficientes esas fuerzas, los asteroides adquieren formas muy irregulares siempre vinculadas a los fenómenos de acreción de material e impactos que los originaron. La fantástica imagen del asteroide Eros que se muestra en la imagen en blanco y negro ilustra claramente la irregularidad en su forma, que en este caso particular dista mucho de semejarse a un planeta.

La luz que vemos de los asteroides

Los asteroides reflejan parte de la luz solar que reciben y es por ello que los observamos desde la Tierra. Debido a sus pequeños tamaños y a la gran distancia a que suelen estar, se los observa muy débiles y aún con grandes telescopios resulta imposible observar esas formas irregulares. Las imágenes capturadas con telescopios los muestran como puntos similares a las estrellas y con sucesivas capturas podremos detectarlos por sus movimientos contrastando con el fondo del cielo. En ocasiones, unos pocos minutos bastan para detectar el cambio de posición respecto al campo invariable de estrellas. Un

Fotometría de rotaciones de asteroides

ejemplo puede verse en la imagen del asteroide 188 (Menippe) registrado en dos noches sucesivas desde uno de los observatorios de GORA.



Asteroide (188) Menippe
Imágenes apiladas por un integrante de GORA (13 y 14/05/2020)

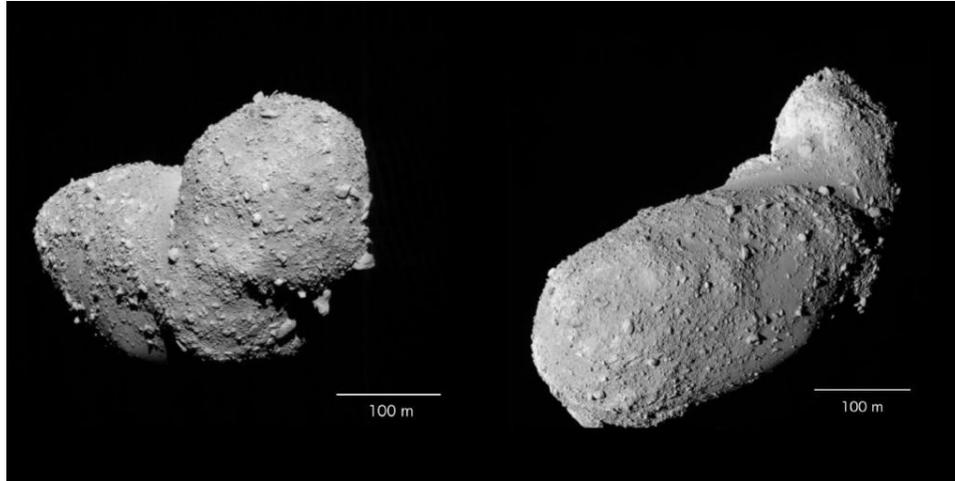
Los puntos luminosos consecutivos corresponden al asteroide y fueron registrados en intervalos de tiempo de entre 24 y 30 min. La notoria separación entre ambas trazas indica el intervalo diurno en que, por razones obvias, el registro no es posible. Interesantemente y aunque no con gran frecuencia, el asteroide atraviesa campos estelares muy ricos o incluso objetos atractivos de espacio profundo, como es la galaxia NGC 5054 en este caso particular. Los objetos luminosos que se interponen en la trayectoria del asteroide, aunque fotogénicos, constituyen un impedimento para realizar mediciones fotométricas, por lo que las capturas en tales circunstancias deben descartarse.

Rotación y variación del brillo de los asteroides

Si se cuenta con equipos adecuados, y la suficiente paciencia para fotografiar varias horas un mismo asteroide, es posible medir -imagen a imagen- el brillo recibido en el sensor de la cámara fotográfica. Debido a la forma irregular de los asteroides y a través de un trabajo minucioso permite detectar cómo varía el brillo del asteroide a medida que pasa el tiempo. De a ratos el brillo aumenta, luego disminuye y sigue fluctuando su intensidad a medida que transcurre el tiempo. Ocurre que la luz se refleja por momentos en áreas extensas del asteroide (aumenta el brillo) y otras veces en zonas de poca superficie (disminuye el brillo). Al rotar sobre su eje, el asteroide repetirá el mismo baidoteo del brillo una y otra vez cuando complete cada giro, por lo que es posible medir la rotación del asteroide con solo encontrar la periodicidad de esa fluctuación del brillo. Las imágenes del asteroide Itokawa que se acompañan, así como la de Eros (más arriba),

Fotometría de rotaciones de asteroides

reflejan claramente la irregularidad en la geometría de ambos asteroides, lo que anticipa que la luz que llegue a nuestros sensores irá fluctuando conforme exponga sus distintas caras.

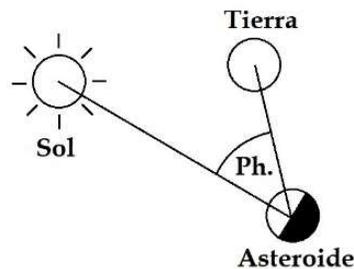


Asteroide (25143) Itokawa- Imágenes tomada por la sonda japonesa Hayabusa en 2005

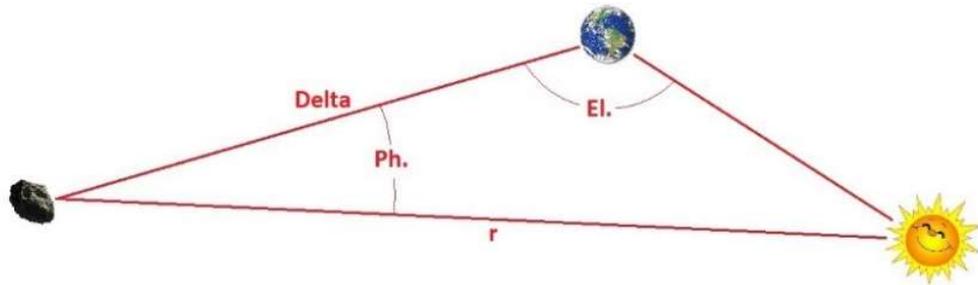
Condiciones astronómicas para observar asteroides

El brillo con el que observamos un asteroide depende de varios factores. Los más importantes son:

1. Tamaño del asteroide: a mayores dimensiones, mayor será la superficie reflectante por lo que mayor será el brillo observado.
2. Albedo: es la proporción de luz reflejada por el asteroide con respecto a la que recibe del Sol. A mayor albedo, mayor será el brillo observado.
3. Distancia Sol-Asteroide (r): a mayor distancia del Sol, el asteroide recibe menor cantidad de luz por lo que menor será su brillo observado.
4. Distancia Tierra-Asteroide (Δ): a mayor distancia del asteroide, la luz reflejada que llega a la Tierra es menor, por lo que menor será su brillo observado.
5. Angulo de fase ($Ph.$): es el ángulo entre el Sol y la Tierra visto desde el asteroide. Cuanto mayor es el ángulo de fase, menor es la superficie reflectante observable desde la Tierra, por lo que menor será el brillo observado. Cuando $Ph. = 0$, se dice que la fase es “llena” y desde la Tierra se puede ver toda la cara iluminada por el Sol.

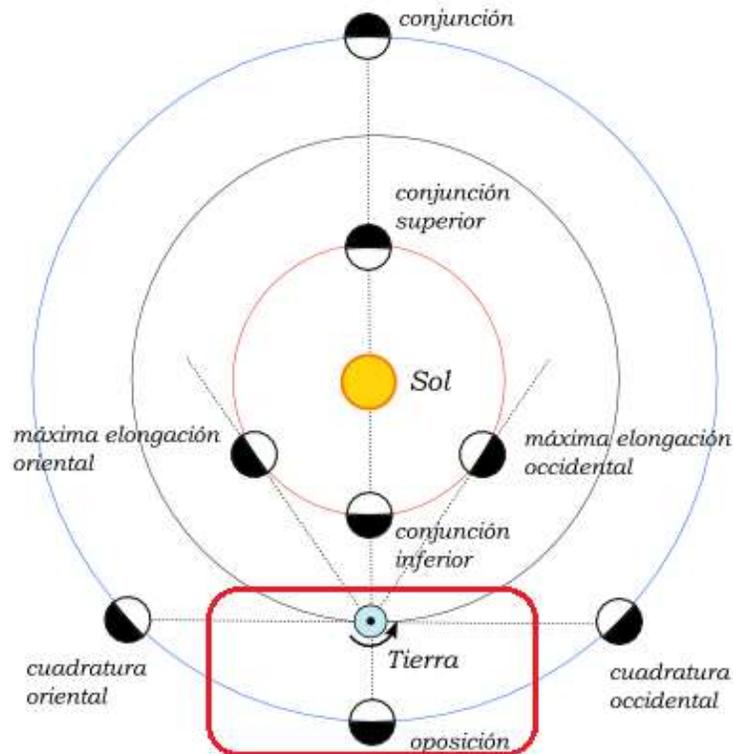


Fotometría de rotaciones de asteroides



6. Elongación (El.): Es el ángulo entre el Sol y el asteroide visto desde la Tierra.

En la oposición (alineación: Sol-Tierra-Asteroide, con: $Ph \approx 0^\circ$ y $El \approx 180^\circ$) se produce la condición ideal para observar asteroides a los que se les pretende medir el período de rotación.

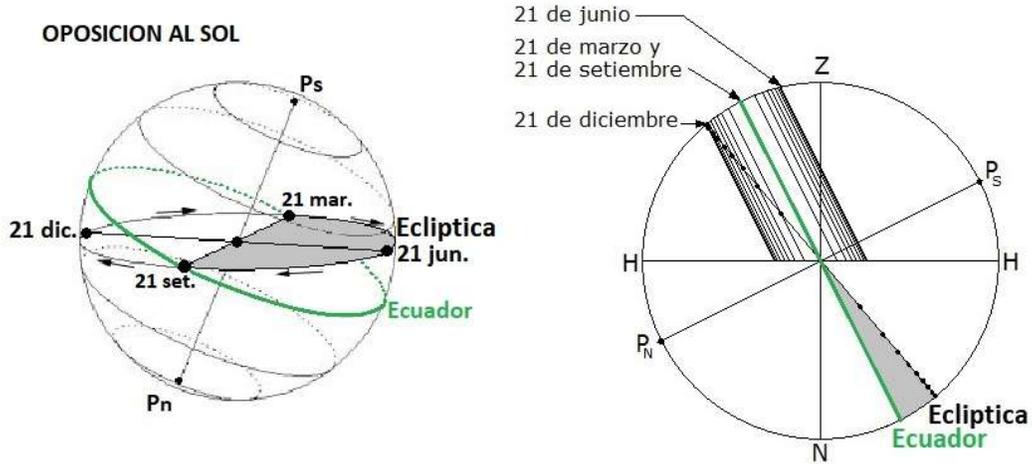


La mayoría de los asteroides tienen órbitas más o menos coplanares con la Eclíptica.

En las latitudes australes, las condiciones favorables para observar asteroides se producen durante el otoño y el invierno. En estas estaciones, la oposición al Sol mantiene siempre declinaciones negativas.

Los asteroides que se encuentren en oposición, culminan a gran altura y se los observa varias horas por encima de los 30° .

Fotometría de rotaciones de asteroides

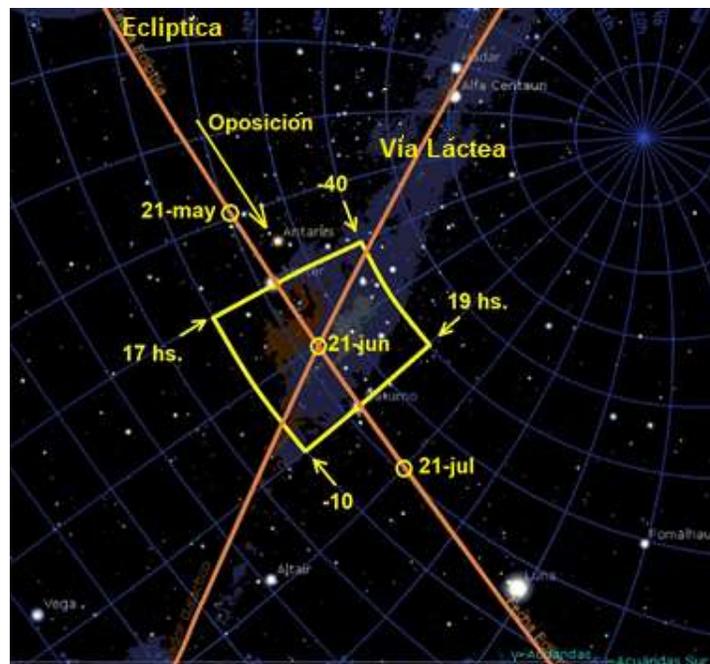


Épocas con dificultades para observar asteroides

Durante la primavera y el verano, cuando la oposición tiene declinación siempre positiva, por lo que los asteroides culminan a muy baja altura y se los observa sólo unas pocas horas por encima de los 30°.

Durante todo el mes de junio: por la coincidencia de la oposición con la Vía Láctea. Los asteroides se mueven entre un fondo muy rico de estrellas que contaminan el flujo luminoso del asteroide.

La solución es la de observar asteroides con oposiciones anteriores o posteriores al mes de junio, verificando antes que el fondo del cielo no sea tan estrellado en su desplazamiento.



Fotometría de rotaciones de asteroides

Limitaciones técnicas y del sitio para observar asteroides

Son varias las limitaciones que condicionan la observación de asteroides:

- Características del sitio: obstáculos, contaminación lumínica directa e indirecta, clima, etc.
- Características del equipo: magnitud límite detectable (diámetro del telescopio – sensibilidad de la cámara – guiado de la montura – etc.).
- Puesta en estación: debe ser suficientemente precisa, para evitar derivas en declinación y para que solamente se deba corregir el error periódico.
- Autoguiado: debe permitir exposiciones de dos o más minutos con improntas circulares o levemente oblongas.

Las fases de los asteroides

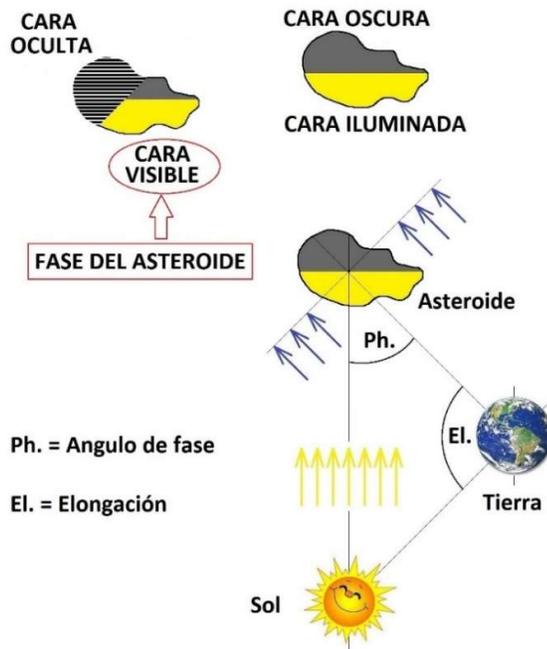
Los asteroides, como todos los objetos del sistema solar, presentan “caras” diferentes que hacen que su aspecto cambie continuamente para un observador ubicado en la Tierra. Llamaremos “fase del asteroide” a la cara visible del cuerpo menor visto por un observador ubicado en la Tierra. Las características de las fases del asteroide dependen de los siguientes factores:

1. La iluminación del Sol.
2. La visibilidad del asteroide desde la Tierra.
3. El ángulo de fase.
4. El movimiento de rotación del asteroide sobre su eje.

1. **La Iluminación del Sol:** la iluminación del Sol define dos caras claramente diferenciadas.

- Cara iluminada: es la superficie del asteroide expuesta al Sol y alcanzada por su luz. Una parte de esa luz es reflejada (albedo).
- Cara oscura: es la superficie del asteroide que se opone al Sol, por lo que no recibe luz, permaneciendo totalmente oscura.

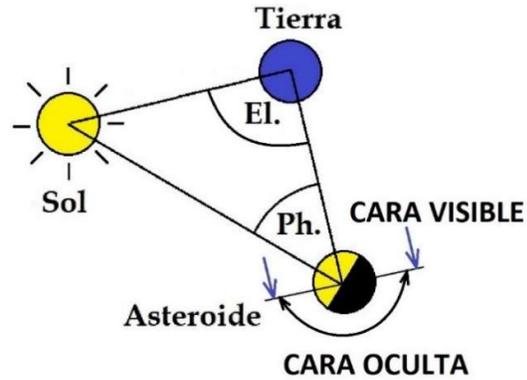
2. **La visibilidad del asteroide desde la Tierra:** desde la perspectiva de la Tierra, se observan otras dos caras también definidas de manera indubitable.



Fotometría de rotaciones de asteroides

- Cara visible (fase del asteroide): es la superficie del asteroide expuesta a la Tierra. En general, la cara visible abarca una parte de la cara iluminada y una parte de la cara oscura del asteroide.
- Cara oculta: es la superficie del asteroide imposible de observar desde la Tierra, ya que se opone a la visual del observador en nuestro planeta.

3. **El ángulo de fase:** el ángulo de fase cambia con los cambios de la orientación Sol-asteroide-Tierra, con lo cual es este el parámetro ideal para definir las caras visibles del asteroide que llamaremos “fases de la traslación” y con ella las proporciones de superficie que corresponden a la cara iluminada y a la cara oscura.



Efecto de oposición: cuando el ángulo de fase vale cero ($Ph. = 0$), el asteroide, la Tierra y el Sol están en

línea recta y se produce un máximo de brillo por la coincidencia de cuatro factores:

- La cara visible del asteroide coincide con la cara iluminada (fase “llena”).
- La distancia asteroide-Tierra es la menor de sus movimientos relativos, lo que implica un máximo de brillo debido a la relación inversa del brillo con el cuadrado de la distancia.
- Al tratarse de una superficie rugosa, no se producen sombras visibles en la cara iluminada.
- La retrodispersión coherente, un fenómeno físico que -según estudios realizados- parece ocurrir en los asteroides cuando están en oposición.

Asteroide antes y después de la oposición: las fases de la traslación son crecientes antes de la oposición y el ángulo de fase disminuye. Las fases de la traslación son menguantes después de la oposición y el ángulo de fase aumenta. El brillo del asteroide, en ambos casos, es inferior al de la oposición y tanto menor cuanto mayor sea el ángulo de fase. Las razones por las que el brillo del asteroide en las fases crecientes o menguantes es menor que en la oposición son las siguientes:

- La cara visible abarca parte de la cara iluminada y parte de la cara oscura.
- La distancia es mayor que la mínima lograda en la oposición. El brillo disminuye con el cuadrado de la distancia.
- En la parte iluminada de la cara visible se ven sombras de la superficie rugosa.
- La retrodispersión coherente, ocurre con menor intensidad o es nula.

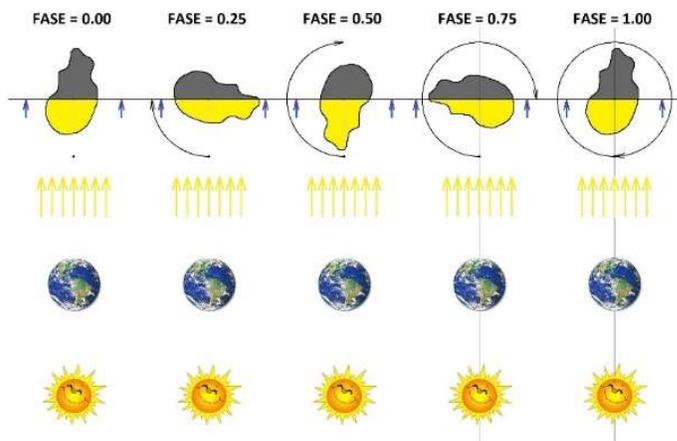
Asteroide en la cuadratura: en la posición de cuadratura ($El. = 90^\circ$), el asteroide culmina cuando el Sol está en el horizonte y en pleno crepúsculo. En la cuadratura occidental (posterior a la oposición), el brillo del asteroide es muy débil y se lo puede observar poco más de 2 horas y rara vez más de 4 horas. No es conveniente observar asteroides más allá de la cuadratura cuando se pretende hacer fotometría. En GORA

Fotometría de rotaciones de asteroides

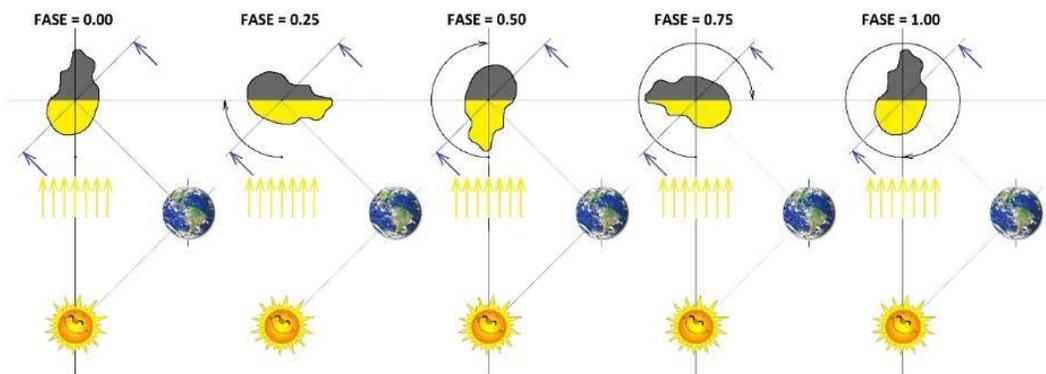
solemos observar asteroides cerca de la oposición y -en algunos casos- hasta próximos a la cuadratura occidental. Ello ocurre así debido a los horarios en los que pueden observar los integrantes de GORA: desde el anochecer hasta la medianoche.

4. **El movimiento de rotación del asteroide sobre su eje:** En cualquiera de las fases de la translación, la cara visible del asteroide cambiará debido a su movimiento de rotación. Este movimiento hace que se vayan mostrando diferentes caras, que llamaremos "fases de la rotación", que hacen fluctuar el brillo de manera periódica. Aquí dos ejemplos de cambios de fase de la rotación para dos casos particulares de fases de la translación que son de referencia para los observadores de GORA.

Fases de la rotación para el ángulo de fase de 0° Fase "llena" de la translación en la oposición al Sol



Fases de la rotación para el ángulo de elongación de 90° Fase "creciente" o "menguante" de la translación en la cuadratura con el Sol



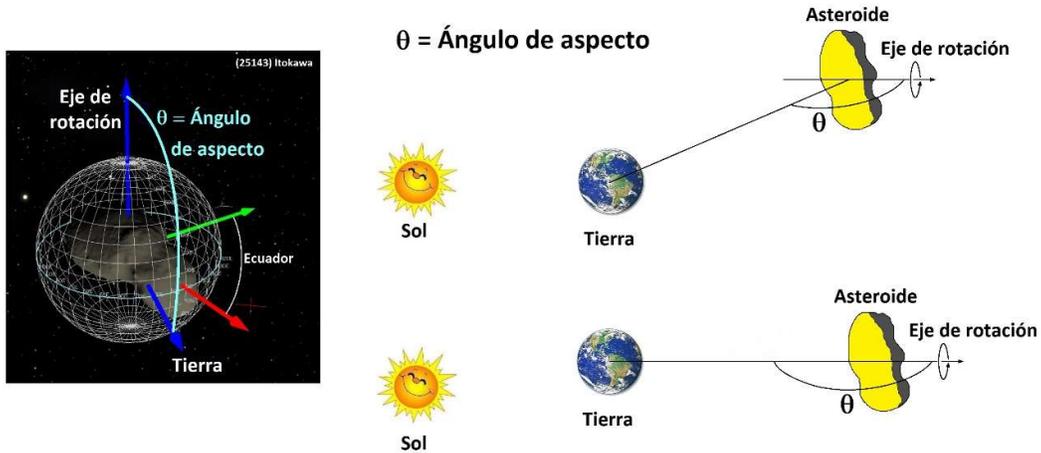
Ángulo de aspecto

El ángulo de aspecto " θ " es el ángulo comprendido entre la visual Tierra-asteroide y el eje de rotación del asteroide. Es otro parámetro fundamental que define las características de la variación del brillo observable del asteroide desde la Tierra.

Fotometría de rotaciones de asteroides

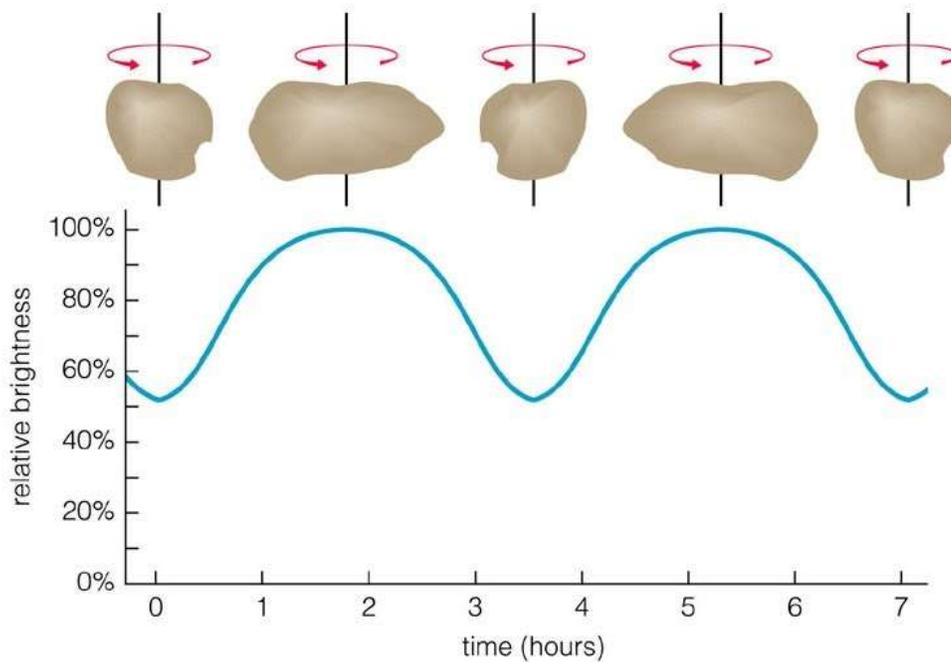
- Cuando el ángulo de aspecto es $\theta = 90^\circ$, tendremos la mayor amplitud de la curva de luz dado que estamos observando hacia el ecuador del objeto.
- Cuando el ángulo de aspecto es $\theta = 0^\circ$ ó $\theta = 180^\circ$, no notaremos variación de brillo (la amplitud de la curva será prácticamente cero) ya que desde la Tierra estaremos observando hacia uno de los polos del asteroide.

La observación del objeto desde diferentes ángulos de aspecto, permite obtener la forma tridimensional del asteroide.



Curvas de luz de rotaciones de asteroides

Si se logra medir la luminosidad del asteroide mientras rota, la representación gráfica de la luminosidad en función del tiempo es lo que denominamos “curva de luz”.



Fotometría de rotaciones de asteroides

Una de las formas de obtener el período de rotación de un asteroide, es con la captura de series de imágenes CCD en las que se mide el flujo de fotones registrado en cada impronta del objeto, para compararlo con los flujos de las improntas de otras estrellas observadas esa misma noche.

Si el período de rotación es de unas pocas horas, es posible que en una noche se logre registrar una rotación completa.

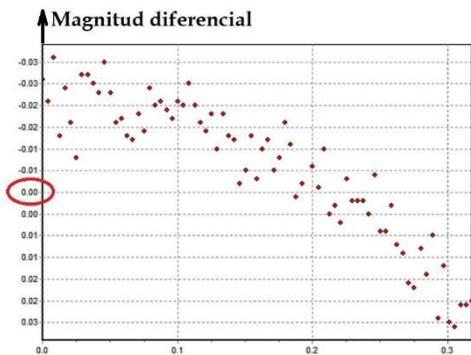
Fotometría CCD

La fotometría CCD es la técnica que permite construir las curvas de luz.

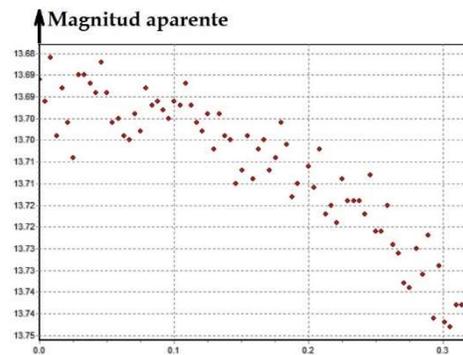
Las curvas de luz obtenidas en diferentes noches de observación, son apenas “porciones” de una curva más grande que se espera obtener como resultado final. Se hace evidente entonces que la cooperación y el trabajo en equipo, son fundamentales para estos desafíos. Mientras más curvas de luz se tengan, mejor se podrá determinar el período de rotación de un asteroide.

Describimos tres métodos que se utilizan frecuentemente para obtener curvas de luz:

- Fotometría diferencial:** consiste en medir la diferencia de brillo entre la estrella de comparación (de brillo constante) y el asteroide (de brillo variable). Esa diferencia de brillo se obtiene restando las “magnitudes instrumentales” de los dos objetos y que representan las cuentas de fotones (ADUs) capturados por el sensor en cada caso. Es la fotometría más usada por los astrónomos aficionados que empleamos una CCD, ya que se logra cumplir con los estándares científicos. Con nuestros equipos logramos campos visuales pequeños en la misma imagen, pero siempre capturamos el asteroide y algunas estrellas del entorno que nos sirven de comparación. Como la distancia cenital del asteroide y las estrellas es prácticamente idéntica, no es preciso determinar la masa de aire ni la extinción atmosférica, lo cual simplifica el procedimiento para obtener resultados útiles. En la fotometría diferencial, la escala de magnitud fija su cero en la estrella de comparación, con lo que: la magnitud del asteroide expresará la “diferencia” de su brillo con respecto al de la estrella.



Fotometría diferencial



Fotometría relativa

Fotometría de rotaciones de asteroides

- b. **Fotometría relativa:** es una variante de la fotometría diferencial, que consiste en ingresar el dato de la magnitud aparente de la estrella de comparación (obteniéndola de un catálogo), por lo que la magnitud del asteroide se expresará ahora en la misma escala de magnitudes aparentes de las estrellas de comparación.
- c. **Fotometría absoluta o “All-Sky”:** consiste en medir la diferencia de brillo entre la estrella de comparación y el asteroide, pero aquí la magnitud del asteroide se obtiene haciendo calibraciones del equipo cada noche teniendo en cuenta las condiciones atmosféricas en ese momento y usando para ello un conjunto de estrellas estándares, fuera del campo de visión del CCD, y recurriendo al uso imprescindible de filtros fotométricos. Es un procedimiento muy complicado para ser aplicado por astrónomos aficionados, quedando restringido al uso profesional.

Uso de la fotometría -diferencial y relativa- en GORA

La fotometría (diferencial y relativa), tal como se anticipó más arriba, es un método científico confiable y ampliamente utilizado no sólo por astrónomos profesionales sino también por astrónomos aficionados que realizan contribuciones aportando datos científicos.

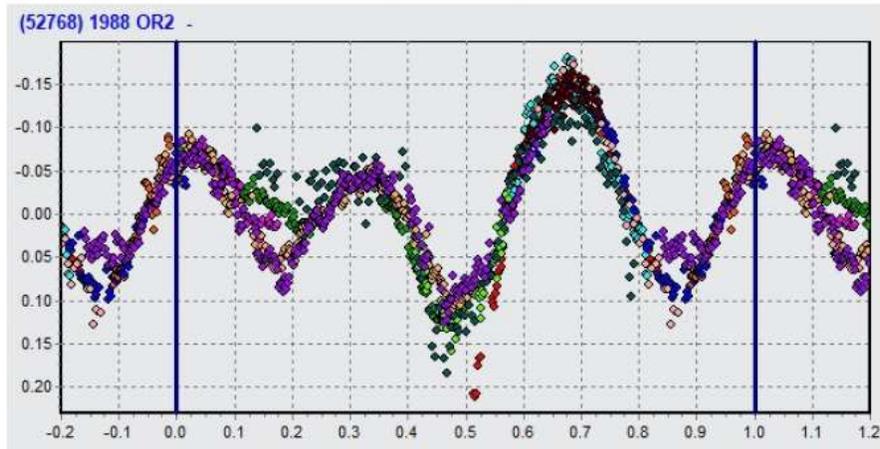
Es importante constatar que las imágenes que habrán de utilizarse en el estudio de variación de luz no incluyan superposición del asteroide con otros objetos luminosos, ya que sobreestimarían su brillo y por ende derivarían en una curva errónea.

Aunque la forma irregular del asteroide es el principal factor condicionante de la variación de su brillo a lo largo del tiempo de observación, ocasionalmente, diferencias importantes en el material que constituye las distintas caras del asteroide, o bien en sus accidentes de relieve, pueden también provocar cambios de brillo dada la diferente capacidad de reflexión de la luz proveniente del Sol.

Una experiencia reciente que permitió a GORA evaluar su empleo, así como el resultado obtenido ocurrió en abril del presente año. Durante el acercamiento a la Tierra, el asteroide potencialmente peligroso (52768) 1998 OR2 adquirió importante brillo mientras se desplazaba a una alta velocidad aparente por el cielo. Fue así que hubo oportunidad de confrontar, prácticamente en simultáneo, la medición del período de rotación obtenida por nosotros (fotometría diferencial) con la medición obtenida a través de la técnica de radar del Observatorio de Arecibo (Puerto Rico), actualmente el tercero más grande y potente del mundo en su género. Desde Arecibo se obtuvieron datos muy precisos sobre las dimensiones, forma y características topográficas del mencionado asteroide. La buena noticia fue que la medición realizada con observaciones de los pequeños telescopios ópticos de GORA fue la misma que la obtenida con la antena de radar de 305 metros de diámetro de Arecibo: el período de rotación del asteroide (52768) 1998 OR2 es de 4,1 horas.

Fotometría de rotaciones de asteroides

Cálculo de Período de Rotación a través de Fotometría Relativa con FotoDif
Near Earth Object (52768) 1998 OR2



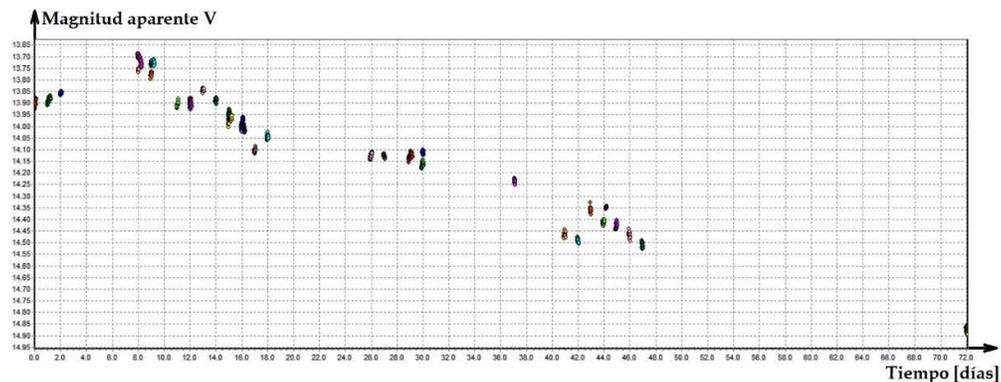
Periodo candidato: 0,17112 d = 04,10688 hs = 04 h 06 m 24,7 s

Período de rotación obtenido con datos aportados por cuatro observatorios de GORA

Magnitud aparente "V" obtenida con fotometría relativa

Las magnitudes de las estrellas de calibración se extraen de catálogos estelares que especifican el brillo para las diferentes longitudes de onda. Para hacer fotometría relativa deberíamos utilizar filtros, pero el problema es que los astrónomos aficionados contamos con telescopios de pequeña apertura y los filtros limitan la poca cantidad de luz que podemos capturar de un asteroide.

En GORA realizamos observaciones de un mismo asteroide con diferentes equipos que agregan sensibilidades diferentes para iguales longitudes de onda. Los observatorios están en lugares distantes con coeficientes de extinción atmosférica también diferentes. Es esperable entonces obtener mediciones diferentes del mismo objeto en el mismo momento, aunque hemos verificado que esas diferencias son muy pequeñas. El programa Períodos de Fernando Mazzone puede combinar mediciones promediando esas pequeñas diferencias.



Magnitud aparente V del asteroide (1269) Rolandia – GORA - 02 de abril y el 13 de junio de 2020

Fotometría de rotaciones de asteroides

Otro factor que produce diferencias de lectura es la fuente de información de las que se extraen las magnitudes de las estrellas. Una forma de minimizar estas diferencias es la de elegir cuidadosamente las estrellas de calibración de modo que tengan índices de color similares y aseguren -además- que tengan brillo constante. AAVSO (American Association of Variable Star Observers) recomienda seleccionar estrellas de comparación con su programa "SeqPlot". En GORA decidimos utilizar este recurso para seleccionar estrellas de calibración y asignarles las magnitudes aparentes V en cada observación.

Lo que buscamos es medir la magnitud aparente V del asteroide lo más preciso "posible", para arrastrar un mínimo de error a la hora de construir el diagrama de fases.

Estandarización de datos obtenidos con fotometría relativa

Cuando se estudia la variabilidad del brillo de las estrellas, los cambios producidos -por una razón intrínseca o extrínseca que se quiere estudiar- son registrados en la fotometría relativa y pueden ser analizados directamente con esos datos obtenidos.

En el caso de los asteroides, los datos de la fotometría relativa no reflejan solamente los cambios de brillo por la rotación, también reflejan otros fenómenos que se "mezclan" impidiendo utilizar los datos obtenidos de la fotometría relativa para analizar la rotación. Los fenómenos que también producen cambios de brillo del asteroide son:

1. el cambio de la distancia del asteroide al Sol (r).
2. el cambio de la distancia (Δ) entre el asteroide y la Tierra.
3. el cambio del "ángulo de fase" (Φ) del asteroide.

Para estudiar la rotación, es imprescindible corregir los datos de la fotometría relativa eliminando los cambios de brillo ocasionados por esas otras tres causas, para que queden sólo los de la rotación. A esa corrección la llamaremos "estandarización".

Otro factor que se debe corregir es el tiempo Juliano Geocéntrico (J.Geo.) que se registra al momento de observar el asteroide. Ocurre que no es el tiempo en que el objeto tenía ese brillo, dado que la luz emitida por el asteroide tarda un tiempo significativo en viajar por el espacio hasta llegar al observador y esa distancia también cambia.

Para poder vincular las curvas de luz, es necesario que la magnitud aparente V y el tiempo de registro J.Geo. sean reducidos a condiciones idénticas (Δ , Φ , r y tiempo en el asteroide) para todas las mediciones obtenidas. El programa "Períodos" de Fernando Mazzone hace estas reducciones utilizando datos orbitales actualizados que lee de la base de datos de asteroides del Minor Planet Center.

Las magnitudes aparentes V son reducidas a una nueva escala basada en el concepto de "magnitud absoluta del asteroide (H)" y que corresponde al brillo que tendría el asteroide si estuviera situado a 1 ua, tanto del Sol ($r = 1$ ua) como de la Tierra ($\Delta = 1$

Fotometría de rotaciones de asteroides

ua) y si su ángulo de fase fuera nulo ($Ph. = 0^\circ$). Queda todo como si no hubiese movimientos entre: asteroide-Tierra-Sol y solamente hubiese movimiento de rotación.

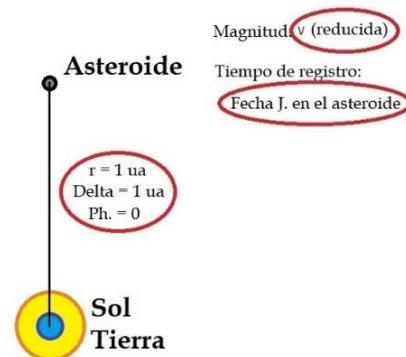
El tiempo de registro (J.Geo) es reducido al tiempo en el que se refleja la luz del Sol en el asteroide (Juliano en el asteroide).

Si el asteroide fuese esférico y con superficie igualmente reflectante, todos los cálculos de reducción terminarían con valores de magnitud V reducida igual a la magnitud absoluta del asteroide (H). Si el asteroide es irregular, su magnitud V reducida fluctuará alrededor del valor H, mientras rota.

Datos de la fotometría relativa



Estandarización de datos



Magnitud absoluta del asteroide Aproximadamente igual a la Magnitud V reducida

(1269) Rollandia		[H= 8.7]	Delta	r	El.	Ph.	V
Date	UT	R.A. (J2000)	Dec1.				
	h m s						
2020 06 14 000000	12 55 29.6	-02 37 07	3.169	3.653	118.6	15.1	14.9

Estandarización de datos obtenidos con fotometría relativa

Análisis del período – Diagrama de promedios de residuos de dispersión

Los programas que se utilizan para encontrar el período de rotación, hacen ajustes para minimizar las dispersiones entre las curvas de luz obtenidas y calculan el promedio de residuos de dispersión de esos puntos. En la búsqueda de períodos candidatos, se establecen rangos de períodos a explorar cuyos límites imponemos. Los programas identifican cuál de todos ellos es el período que tiene el menor

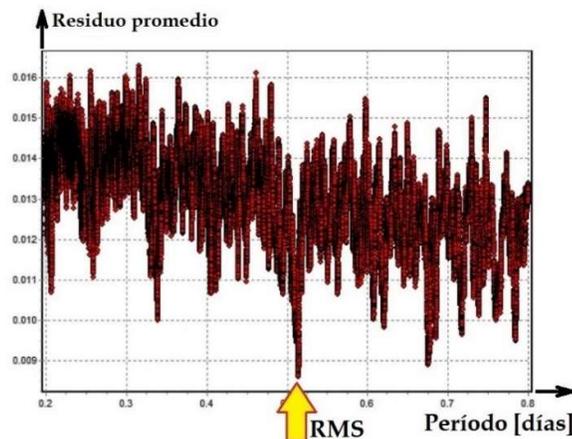


Diagrama de promedios de residuos de dispersión

Fotometría de rotaciones de asteroides

promedio de residuos (RMS) de dispersión de puntos. A veces surgen varios períodos con bajos valores de RMS, lo que implicará continuar con las observaciones hasta que el período verdadero se destaque de los demás períodos candidatos.

Diagrama de fases

Con el período candidato detectado, los programas construyen un nuevo gráfico llamado “diagrama de fases”. Consiste en superponer todas las curvas de luz obtenidas individualmente en diferentes noches, de modo que refleje la forma en la que varía el brillo del asteroide a medida que cambian las fases de rotación (caras vistas desde la Tierra) durante un giro completo.

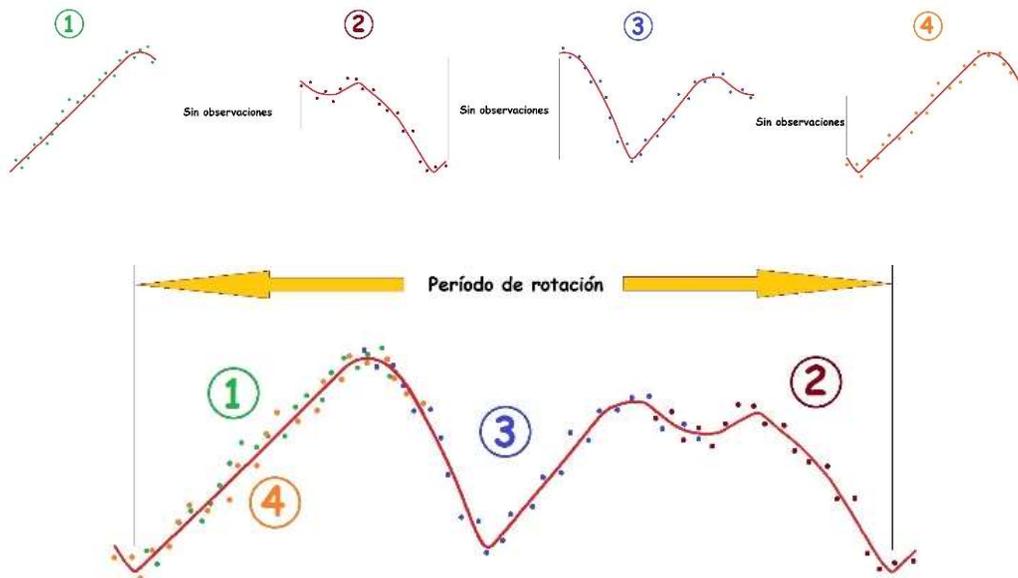
En el eje X del diagrama de fase se reemplaza el “tiempo” por la “fase” que le corresponde a cada instante de la rotación del asteroide. Si el inicio del período se lo considera en un máximo de brillo (fase = 0), la variación de brillo continuará hasta alcanzar mínimos y máximos, pero volverá otra vez al máximo inicial (fase = 1).

De esta manera, las fases se expresan en fracciones decimales de 1, es decir: entre las fases: 0 y 1, transcurre un período de rotación completa.

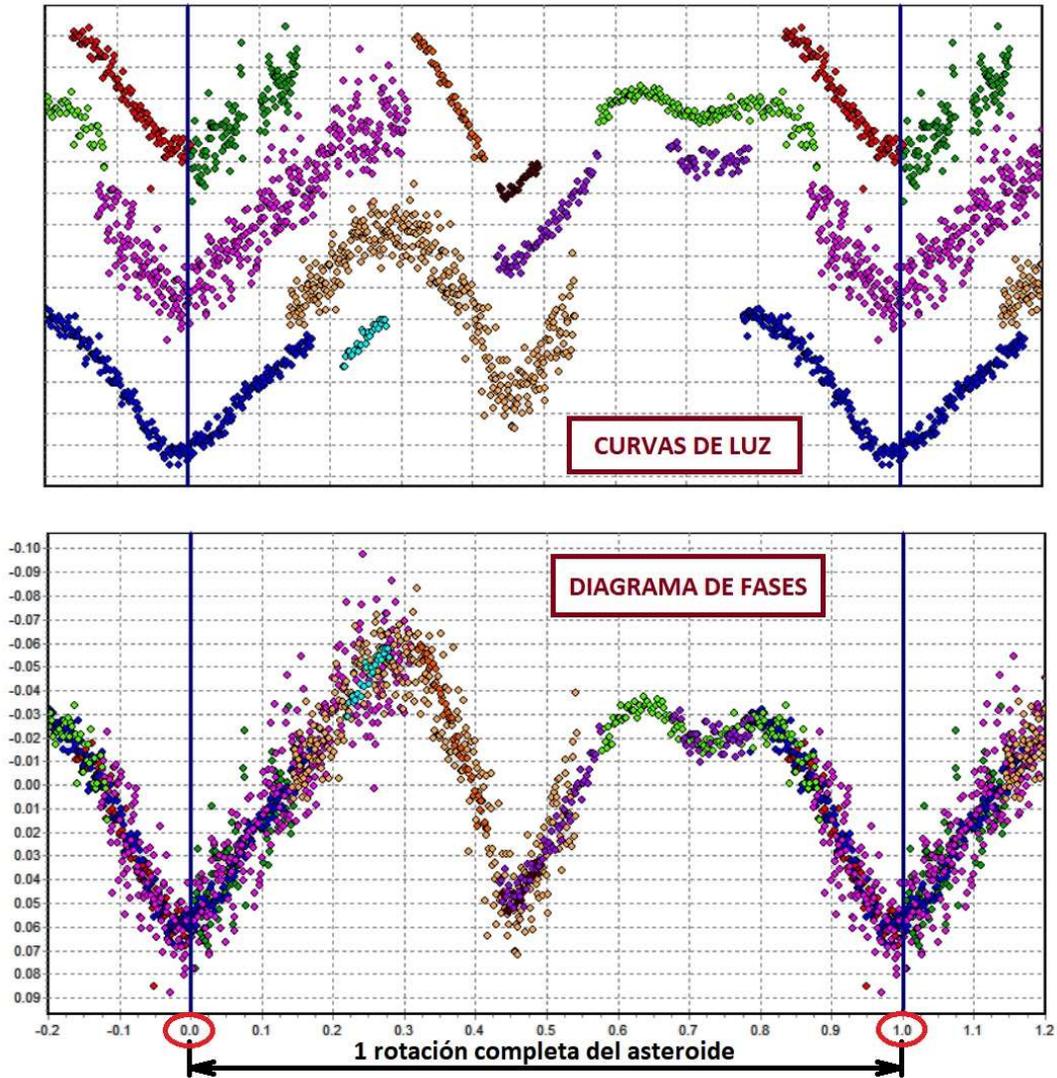
Cuando el período es de pocas horas (menos de 8 horas) es posible ver un período completo en una sola noche.

Cuando el período es de muchas horas o días, no es posible (desde la Tierra) observar una rotación completa. En este caso, se obtienen curvas de luz en diferentes noches con las cuales se busca combinarlas para lograr construir el diagrama de fase.

En cualquiera de los dos casos: se deben superponer curvas de luz de diferentes fechas en un lapso de varias semanas, para reducir el error en el valor del período que se obtenga, aun cuando estén cubiertas todas las fases del ciclo.



Fotometría de rotaciones de asteroides



Dificultades para medir períodos largos de rotación con fotometría diferencial

Hasta junio de 2020, en GORA estuvimos aplicando fotometría diferencial para obtener períodos de rotación de asteroides. Verificamos que resulta muy eficaz a la hora de determinar períodos cortos de rotación, generalmente inferiores a 24 horas.

El problema surge cuando el período de rotación supera las 24 horas. También si es divisor o múltiplo de 24 horas, en los que todas las noches se ven las mismas fases de rotación mientras que otras fases ocurren cuando es de día en el mismo sitio de observación.

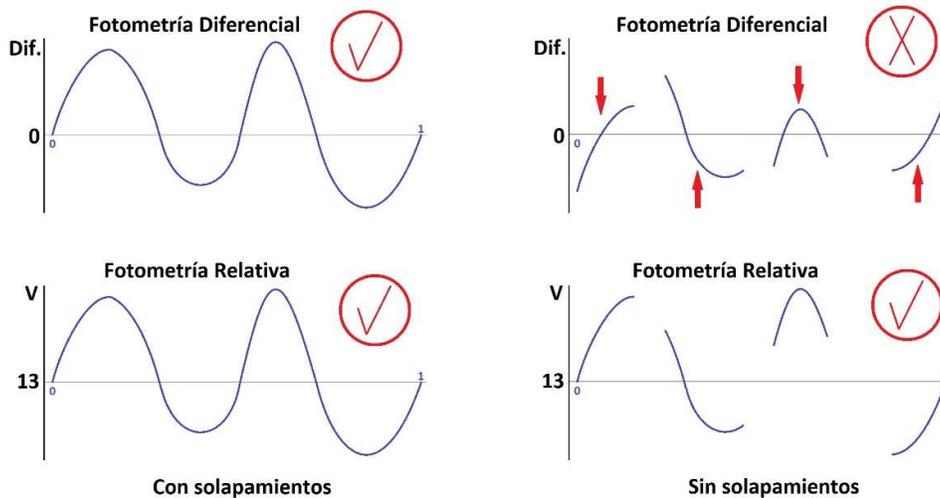
Las curvas de luz que se logran durante la oposición (alineación: Sol-Tierra-asteroide), suelen ser insuficientes para cubrir -de forma continua- todo el diagrama de fases de la rotación, quedando tramos desvinculados entre sí.

Fotometría de rotaciones de asteroides

Al no disponer de suficientes solapamientos en el diagrama de fases, los programas de búsqueda de períodos candidatos tienen dificultades para encontrar períodos candidatos definidos, y cuando lo logran, ajustan las curvas de luz en diagrama de fases con tramos desvinculados de sus vecinos, que quedan centrados en el 0 (cero) de la escala de magnitud diferencial. Esos desplazamientos en magnitud hasta un lugar incorrecto, impiden conocer la forma real de la variación del brillo del asteroide.

Si se solapan todos los tramos del diagrama, la escala de magnitud a utilizar no tendrá mayor importancia. Así, tanto en magnitud diferencial como en magnitud aparente V , se obtendrá la forma verdadera del diagrama.

Si en cambio no se solapan todos los tramos del diagrama, conocer la magnitud aparente V nos permitirá construir diagramas de fase verdaderos, y esa es la principal razón por la que conviene utilizar fotometría relativa para períodos largos de rotación.



Dificultades de la fotometría diferencial cuando no hay solapamientos

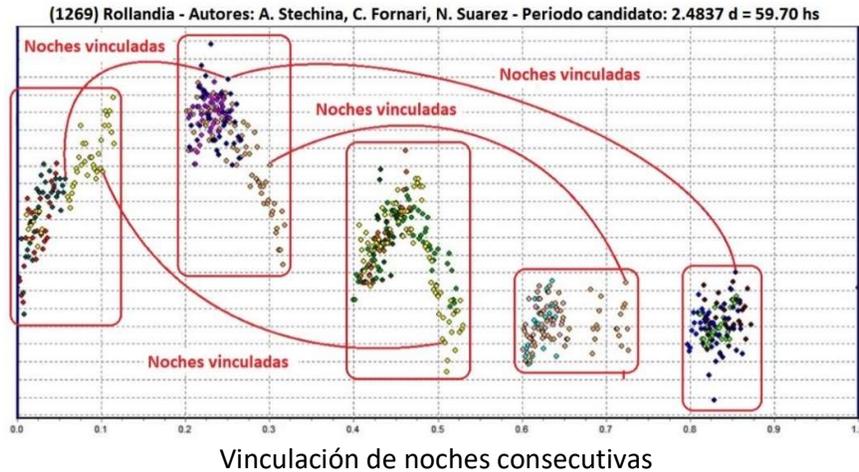
Vinculación de noches consecutivas

Vincular dos o tres noches consecutivas consiste en observar el asteroide durante las dos o tres fechas sucesivas, utilizando las mismas estrellas de calibración y elaborando un único informe, como si todo hubiese sido realizado en una misma serie.

No siempre es posible vincular noches consecutivas. En gran medida depende del tamaño del campo que se logra ver con el equipo y de la velocidad del asteroide. Esto requiere de una evaluación previa antes de la primera noche, eligiendo de antemano las estrellas de calibración que se utilizarán.

La vinculación de noches consecutivas resulta altamente conveniente en fotometría diferencial, para evitar que tramos no solapados queden centrados en la escala de magnitud.

Fotometría de rotaciones de asteroides



Adicionalmente, la vinculación de noches consecutivas facilita la búsqueda de periodos candidatos, por lo que este recurso tiene dos propósitos útiles:

- Vincular tramos del diagrama de fases localizando en magnitud a los tramos desvinculados por solapamientos.
- Ayudar a descartar períodos candidatos, al forzar errores de ajuste que podrían no manifestarse si los informes de esas noches se hacen por separado.

Cuando se aplica fotometría diferencial, este recurso también suele ser insuficiente para períodos es muy largos, ya que suelen quedar varios tramos sin vincular, por lo que quedan centrados en el 0 (cero) de la escala de magnitud.

Selección del procedimiento para el análisis de períodos

Con la aplicación de la fotometría relativa y la estandarización de esos datos, el programa Períodos de Fernando Mazzone es capaz de construir diagramas de fases en los que cada curva de luz se localiza en función de las magnitudes V reducidas.

Si no existen solapamientos entre las curvas de luz y hay tramos desvinculados de otros, esas curvas aparecerán en el lugar correcto en el diagrama de fases, algo que no ocurría cuando se aplicaba fotometría diferencial.

Programa Períodos: <http://www.astrosurf.com/salvador/Programas.html>

Como los tramos no solapados del diagrama de fase permanecen en sus respectivas magnitudes V reducidas, sus gráficos reflejan la verdadera forma de variación del brillo del asteroide, algo particularmente imprescindible en el caso de asteroides de largo período donde la ausencia de solapamientos es frecuente.

Adicionalmente, el programa Períodos permite elegir el número de términos de la función matemática que ajusta cambios rápidos o lentos de brillo, según sea el caso que se analice.

Fotometría de rotaciones de asteroides

Estas posibilidades no las tenemos disponibles con el programa FotoDif de Julio Castellano. Sin embargo, FotoDif resulta de gran utilidad para realizar análisis preliminares de períodos en aplicaciones de fotometría diferencial (para períodos cortos de rotación) y para elaborar efemérides e informes de las curvas de luz de cada sesión de observación, tanto para fotometría diferencial como para fotometría relativa.

ANÁLISIS DEL PERIODO	MAGNITUD	CARACTERÍSTICAS	OBTENCIÓN DEL PERIODO CON EL DIAGRAMA DE FASES	
			SIRVE PARA:	NO SIRVE PARA:
FOTOMETRIA DIFERENCIAL	DIFERENCIAL	CERO ESCALA: FLOTANTE	1-CURVAS SOLAPADAS 2-PERIODOS CORTOS	3-CURVAS NO SOLAPADAS
		CERO ESCALA: PROMEDIO DE LAS MAGNITUDES INSTRUMENTALES		4-PERIODOS LARGOS 5-PERIODOS DIVISORES DE 24 HORAS
FOTOMETRIA RELATIVA	APARENTE V	CERO DE LA ESCALA: FIJO LAS MAGNITUDES CAMBIAN POR LA TRASLACION Y LA ROTACION	NO APORTA DATOS PARA HACER EL DIAGRAMA FASES SE DEBEN ESTANDARIZAR LAS MAGNITUDES APARENTES V	
ESTANDARIZACION DE LAS MAGNITUDES APARENTES V	REDUCIDA V	CERO DE LA ESCALA: FIJO	1-CURVAS SOLAPADAS	X
		ASTER. SIN TRASLACION	2-PERIODOS CORTOS	
		LAS MAGNITUDES CAMBIAN SOLO POR LA ROTACION	3-CURVAS NO SOLAPADAS	
			4-PERIODOS LARGOS	
			5-PER. DIVIS. DE 24 HORAS	

Comunicación del período de rotación a la comunidad científica

La actividad de comunicación de los resultados obtenidos es una de las partes más importantes de nuestro trabajo. Las revistas científicas, a través de un sistema de arbitraje por especialistas, evalúan la calidad de los artículos y su recomendación, o no, para ser publicados. En el caso de las mediciones de rotación de asteroides, es el Minor Planet Bulletin la revista que concentra los resultados fotométricos obtenidos por astrónomos aficionados, e incluso astrónomos profesionales, de todo el mundo. Una vez publicada en el Minor Planet Bulletin, toda la información aportada es recogida por las más completas bases de datos internacionales que reúnen información sobre cuerpos menores, como el Small-Body Database del Jet Propulsion Laboratory (NASA), The Small Bodies Data Ferret, The Asteroid Lightcurve Database, entre otras. Allí los datos quedan disponibles permanentemente para su uso por parte de la comunidad científica: desde la utilización comparativa para un mejor conocimiento de la naturaleza de estos objetos hasta su utilización en misiones de exploración realizadas por sondas espaciales, los datos fotométricos sobre rotaciones son recursos indispensables en el avance de la investigación astronómica sobre cuerpos menores del sistema solar.

Entre los objetivos de GORA no sólo está proporcionar mediciones de períodos de rotación ya conocidos, sino que su desafío mayor consiste en avanzar hacia resultados más novedosos como consolidar una medición a partir de múltiples determinaciones imprecisas previamente realizadas de un mismo objeto, e incluso brindar conocimiento nuevo de objetos que permanecen aún sin ser medidos.