

Dimensiones del asteroide (105) Artemis derivado de ocultaciones de estrellas

P. V. Sada*, W. D. Pesnell**

Introducción

El 12 de Febrero de 1998 el asteroide (105) Artemis ocultó la estrella TAC -05° 02851 en la constelación de Monoceros. Esta ocultación fue observada desde tres estaciones localizadas en el área metropolitana de la ciudad de Monterrey. Aquí presentamos el tamaño y la posible forma del asteroide derivado de esas observaciones, y lo comparamos con observaciones previas del mismo. Esta es la primera ocultación asteroidal exitosamente observada por varias estaciones en Monterrey.

El estudio de ocultaciones de estrellas por asteroides permite medir las dimensiones del asteroide por medio de simples observaciones visuales desde la Tierra con una precisión difícilmente igualada. En uno de estos eventos el asteroide se interpone por unos segundos entre una estrella más brillante y el observador terrestre. Midiendo la hora exacta de la desaparición y reaparición de la estrella ocultada por el asteroide, y conociendo la velocidad orbital de éste, además de su dirección y distancia con respecto al observador, se puede calcular la longitud de la ocultación a través del disco aparente del asteroide. Diferentes observadores, localizados típicamente a decenas de kilómetros unos de otros, en general observarán a la estrella pasar por detrás de distintas secciones del asteroide debido al paralaje horizontal. Con suficientes observadores localizados apropiadamente a lo largo y ancho de la franja sobre la superficie terrestre bajo la cual la estrella es ocultada (el paso de la "sombra"), se puede hacer un mapa de la silueta del asteroide. Comparando varias observaciones de este tipo de un mismo asteroide, y conociendo el período de rotación de éste y la dirección de su eje de rotación, se puede determinar la forma tridimensional del asteroide.

Recientes mejoras en la precisión de los catálogos estelares, como la introducción del Catálogo ACT y el Catálogo Hiparco, y la disponibilidad de un mayor número de observatorios astrométricos (incluyendo uno en Monterrey) han permitido, en general, mejorar la predicción y actualización de información sobre ocultaciones de estrellas por asteroides. Esto permite alertar con mayor certeza a observadores localizados dentro de la zona de la ocultación y a observadores móviles que estén dispuestos a medir el evento. En México hemos

iniciado un programa de observación de ocultaciones asteroidales y lunares con sede en Monterrey.

Observaciones

Predicciones de último minuto de la ocultación de la estrella TAC -05° 02851 por el asteroide (105) Artemis fueron realizadas por D. Dunham la noche anterior al evento y distribuidas por correo electrónico a los miembros de la International Occultation Timing Organization (IOTA). Utilizando la posición de la estrella del Catálogo de Referencia ACT y astrometría reciente del asteroide obtenida por el US Naval Observatory, D. Dunham predijo que la sombra del asteroide cruzaría la República Mexicana de sur a norte entre las 5:29 y las 5:31 Tiempo Universal Coordinado (TUC). La Figura 1 presenta un mapa con la trayectoria final de la sombra del asteroide por México. En la figura, el ancho de la sombra representa el diámetro estimado del asteroide (~120 km). La predicción situaba a la sombra a unos 60 km al oeste de lo marcado en el mapa, pero con una incertidumbre de ± 250 km.

Para la observación se movilizaron tres estaciones en el área metropolitana de Monterrey. R. Aguirre y los alumnos del Grupo de Astronomía de la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) se situaron en el recién inaugurado Observatorio Astronómico de la UANL en la Hacienda San Pedro al norte de la ciudad. R. Chávez y miembros de la Sociedad Astronómica del Planetario Alfa (SAPA) utilizaron telescopios portátiles y se colocaron en la carretera a Saltillo al oeste de Monterrey. P. Sada observó desde el Observatorio de la Universidad de Monterrey (UdeM) en San Pedro Garza García. El clima cooperó y todos los grupos lograron observar la ocultación. El método utilizado fue el de grabar el audio de las transmisiones de radio del TUC (WWV, 10 MHz) y anunciar claramente la desaparición y reaparición de la estrella. Posteriormente se extrajo la hora exacta de los

* Departamento de Física y Matemáticas, Universidad de Monterrey, Garza García, N. L.

** Nomad Research Inc., Bowie, MD, USA

eventos revisando la cinta. La Tabla I muestra la posición geográfica (NAD 1927) de cada estación y el TUC de la desaparición y reaparición de la estrella. Estos últimos valores ya han sido corregidos por un estimado (típicamente se utiliza -0.3 segundos) del tiempo de reacción del observador entre el evento y el anuncio del mismo en la cinta.

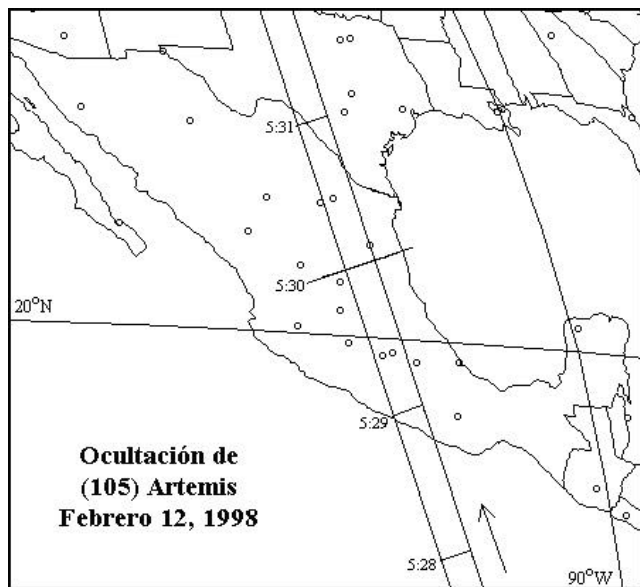


Figura 1. Trayectoria de la sombra de (105) Artemis.

Resultados

En el estudio de ocultaciones asteroidales generalmente se define a un plano fundamental como el plano que cruza por el centro de la Tierra y es instantáneamente perpendicular a la línea que conecta a la estrella con el centro del cuerpo que la oculta. En este plano la sombra del cuerpo tiene, en todo momento, el mismo tamaño y forma que su sección transversal aparente en el cielo. Podemos definir un sistema coordinado en el plano fundamental que es fijo con respecto al centro de la sombra, y en este plano podemos proyectar las coordenadas de un observador en la Tierra durante la ocultación. Para la obtención de las líneas de ocultación del asteroide de cada estación se utilizó el

método previamente descrito por Mills y Elliot¹. Se adoptaron los siguientes valores:

a) Posición de la estrella del Catálogo ACT² corregida por su movimiento propio a la fecha de la ocultación (epoch 2000.0):

Ascensión Recta: 06h 06m 23.2009s
Declinación: -05° 27' 30.004"

b) Efemerides del asteroide generado por el servicio HORIZON³ del Jet Propulsion Laboratory. Posición a las 5:25:00.0 UTC el 12 de Febrero de 1998 (epoch 2000.0):

Ascensión Recta: 06h 06m 23.3909s
Declinación: -05° 27' 29.677"
Distancia: 1.9564134076 u.a.
Desplazamiento en A.R.: -0.00909s / minuto
Desplazamiento en Dec.: +0.4108" / minuto
Cambio en distancia: +0.000005311 u.a. / minuto

Se obtuvieron tres pares de puntos en el plano fundamental correspondiendo a la desaparición y reaparición de la estrella para cada estación. La Figura 2 muestra las líneas de ocultación para las estaciones. La letra "D" denota el extremo donde se observaron las desapariciones de la estrella, mientras que "R" representa las reapariciones en el lado opuesto. Inicialmente se asumió que el asteroide poseía forma esférica y se procedió a encontrar el diámetro que mejor se apegaba a los puntos obtenidos de la silueta. Para ello se utilizó un nuevo método de mínimos cuadrados⁴. El diámetro resultante es de 91.4 ± 4.3 km (línea sólida de la Figura 2). Este valor puede ser comparado directamente con el obtenido en ocultaciones previas del mismo asteroide. La primera observación directa del diámetro de (105) Artemis por medio de ocultaciones fue publicada por Byrne *et al.*⁵ y consta de una sola estación que observa un evento que sugiere un diámetro mínimo para el asteroide de ~110 km. Este valor coincide aproximadamente con el diámetro estimado del asteroide de 119.1 km derivado de las mediciones infrarrojas del satélite IRAS⁶.

El diámetro del asteroide derivado de nuestras observaciones es más pequeño y no concuerda con resultados de observaciones previas. Además, la línea de ocultación de la SAPA en la Figura 2 sugiere que la

Tabla 1. Datos de las estaciones de observación.

	UANL	UdeM	SAPA
Latitud (norte)	+25° 54' 53.0"	+25° 38' 36.3"	+25° 39' 45.4"
Longitud (oeste)	100° 08' 33.8"	100° 22' 26.1"	100° 42' 55.2"
Elevación	380 metros	661 metros	1070 metros
Desaparición (TUC)	05:30:26.4	05:30:25.0	05:30:28.9
Reaparición (TUC)	05:30:35.4	05:30:32.7	05:30:34.2

aproximación circular es insuficiente. Existe la posibilidad de que el asteroide tenga forma elipsoidal. Ajustamos entonces, con el mismo método, una elipse a nuestras observaciones y obtenemos una silueta con dimensiones de 93.6×80.4 km (línea punteada en la Figura 2). Esto sugiere que el eje mayor del asteroide posiblemente apuntaba hacia la Tierra y, consecuentemente, observamos los ejes menores del elipsoide durante la ocultación.

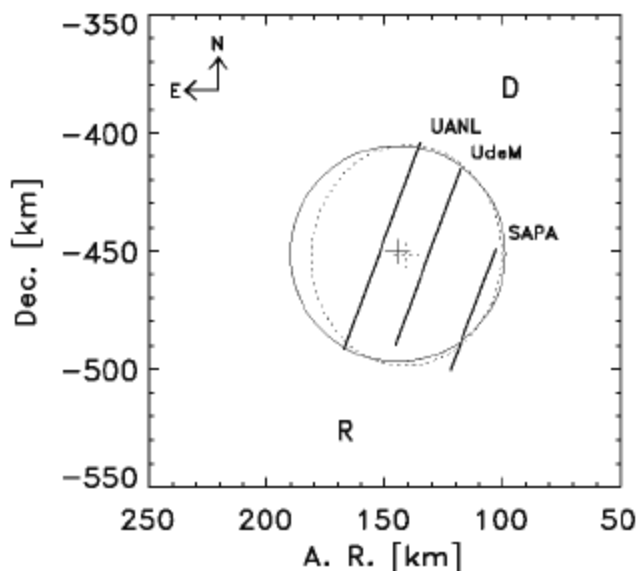


Figura 2. Círculo y elipse ajustados a la ocultación de (105) Artemis del 12 de Febrero de 1998.

En Diciembre de 1997 se observó la ocultación de otra estrella por (105) Artemis. En total, 10 observadores localizados en los Estados Unidos independientemente registraron el evento. La reducción preliminar de los datos⁷ sugiere que el asteroide tiene una silueta de forma aproximadamente elíptica de $\sim 118 \times 93$ km, con un posible cráter localizado en el extremo sureste (visto desde la Tierra) del asteroide. Decidimos averiguar si las observaciones de la presente ocultación podrían complementar los resultados de esta otra reciente ocultación, y así revelar alguna información sobre la forma tridimensional del asteroide. Para esto adoptamos las dimensiones de la elipse obtenida en la ocultación anterior, ya que esta figura está determinada con mayor precisión por un número mayor de observadores. Puesto que la dirección del eje de rotación del asteroide es desconocida, la fijamos en el cielo, haciéndola coincidir con la dirección del eje menor obtenida en la ocultación de 1997 (Angulo de Posición $\sim 325^\circ$). Esto asume que el asteroide no gira en forma compleja (con más de un eje de rotación), que esta rotación es sobre su eje más estable (el menor), y que este eje está en el plano del cielo. Podemos asumir el mismo ángulo de posición porque solamente transcurrieron ~ 70 días entre las observaciones. Durante ese intervalo de tiempo la geometría entre el Sol, el asteroide y la Tierra

cambió poco ($\sim 3^\circ$ en declinación y ~ 0.9 horas en ascensión recta).

Por otra parte, las dos últimas ocultaciones de (105) Artemis transcurrieron exactamente 69.7754 días. El período de rotación del asteroide medido fotoeléctricamente es de 16.84 ± 0.01 horas⁸. Esto quiere decir que el asteroide rotó sideralmente 99.4424 ± 0.0591 veces durante ese intervalo de tiempo. Es necesario corregir esta rotación por 12.3° (0.0342 rotaciones) debido al cambio de posición en el sistema solar del asteroide y la Tierra. El ajuste puede ser positivo o negativo, dependiendo del sentido de rotación del asteroide (directo o retrógrado, respectivamente) que no es conocido. Esto resulta en una diferencia de 0.4766 ± 0.0591 rotaciones ($171.6^\circ \pm 21.3^\circ$) ó $0.4082^\circ \pm 0.0591^\circ$ rotaciones ($147.0^\circ \pm 21.3^\circ$) del aspecto presentado por el asteroide entre las dos fechas. En ambos casos el asteroide muestra en la ocultación local aproximadamente la cara opuesta a la cara presentada en la ocultación anterior. Esto descarta la idea anteriormente postulada de que el asteroide dirigía su eje mayor hacia la Tierra.

La Figura 3 muestra las líneas de la ocultación local acompañadas por elipses que representan las dimensiones del asteroide observado en la ocultación de 1997, pero rotado 172° (línea de rayas) y 148° (línea punteada) sobre su eje menor. Los centros de estas elipses han sido recorridos hasta minimizar las diferencias con los extremos de las líneas de la presente ocultación. El ajuste de las elipses a los puntos es un poco mejor que los mostrados en la Figura 2, excepto por la reaparición observada por la UdeM. Este ajuste hubiera sido aún mejor si nos hubiéramos tomado la libertad de cambiar el ángulo del eje de rotación $\sim 10^\circ$ (línea sólida en la Figura 3), lo que sugiere que el eje de rotación del asteroide está inclinado ligeramente con respecto al plano del cielo. Además se

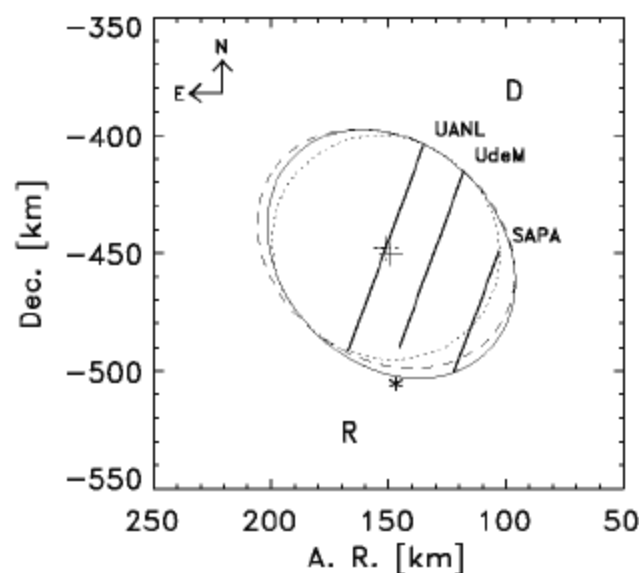


Figura 3. Elipse de la ocultación de (105) Artemis de Diciembre de 1997 rotada y ajustada a las líneas de la presente ocultación.

aprecia que el cráter observado en Diciembre de 1997 en el extremo sureste aparentemente está ahora localizado en la sección suroeste de la silueta del asteroide (asterisco). Esto concuerda con la teoría que el asteroide nos muestra aproximadamente caras opuestas en las dos ocultaciones, y confirma la presencia del cráter en la superficie del asteroide. La incertidumbre en el período de rotación, combinado con la escasez de observaciones en la ocultación de 1998, nos impiden definir el sentido de rotación del asteroide con certeza, aunque el sentido de rotación directo (línea de rayas) es levemente favorecido.

Conclusiones

La observación de ocultaciones estelares por asteroides nos permite medir las dimensiones y forma de los asteroides involucrados. Para esto se requieren de varios observadores distribuidos apropiadamente por el paso de la sombra. En Monterrey logramos realizar las primeras observaciones exitosas de este tipo con el asteroide (105) Artemis. Con la ayuda de observaciones recientes de otra ocultación por el mismo asteroide hemos podido comprobar las dimensiones y la forma de (105) Artemis, incluyendo la presencia de un posible cráter en el hemisferio sur del asteroide. Estas observaciones también nos han permitido favorecer el sentido de rotación del asteroide.

Continuaremos realizando observaciones de este tipo en Monterrey y seguiremos fomentando el interés local y nacional en ocultaciones asteroidales y lunares. También apoyaremos la actualización de predicciones de ocultaciones realizando observaciones astrométricas de asteroides desde el Observatorio de la Universidad de Monterrey (código 720 del Minor Planet Center) y disseminando información sobre eventos de este tipo a observadores potenciales y al público en general⁹.

Agradecimientos

Agradecemos mucho a los observadores de la ocultación; R. Aguirre y los estudiantes del Grupo de Astronomía de la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la UANL, y a R. Chávez y los miembros de la Sociedad Astronómica del Planetario Alfa, por su entusiasmo y colaboración para este proyecto.

Resumen

La ocultación de la estrella TAC -05° 02851 por el asteroide (105) Artemis fue observada el 12 de Febrero de 1998 desde tres estaciones. Con la ayuda de información obtenida durante otra ocultación por el mismo asteroide llevada a cabo 70 días antes, hemos podido confirmar que tiene una forma aproximadamente elipsoidal con dimensiones de $\sim 118 \times 93$ km. También, confirmamos la presencia de un gran cráter localizado en el hemisferio sur

del asteroide, y favorecemos un sentido de rotación directo para el mismo.

Palabras Clave: asteroides, ocultaciones.

Abstract

The occultation of the star TAC -05° 02851 by the asteroid (105) Artemis was observed on 1998 February 12 from three stations. With the aid of data gathered during another occultation by the same asteroid 70 days before, we have been able to confirm that it has an approximately ellipsoidal shape with dimensions of $\sim 118 \times 93$ km. We have also confirmed the presence of a large crater on the southern hemisphere of the asteroid, and favor a prograde (direct) sense of rotation for it.

Keywords: asteroids, occultations.

Referencias

1. Mills, R.L. y Elliot, J.L. Direct Determination of Asteroid Diameters from Occultation Observations. Asteroids. Editor: T. Gehrels. Univ. of Arizona Press, Tucson, AZ, USA. (1979) 98-118.
2. Urban, S.E., Corbin, T.E. y Wycoff, G.L. ACT Reference Catalog. United States Naval Observatory, Washington, DC, USA (1997).
3. Giorgini, J.D., Yeomans, D.K., Chamberlain, A.B., Chodas, P.W., Jacobson, R.A., Keesey, M.S., Lieske, J.H., Ostro, S.J., Standish, E.M., Wimberly, R.N. JPL's On-Line Solar System Data Service, Bulletin of the American Astronomical Society (1996), 28(3), 1158.
4. Pesnell, W.D. Fitting Ellipses to Data. En preparación para publicación (1999).
5. Byrne, P.B., Coulson, I.M., Doyle, J.G. y Taylor, G.E. Observations of the occultation of HD 197999 by the minor planet 105 Artemis. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (1982), 200, 65P-68P.
6. Tedesco, E.F. IRAS Minor Planets Survey. Asteroids Comets, and Meteors: Proceedings of the 160th International Astronomical Union. Editor: A. Milani, M. DiMartino y A. Cellino. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (1993), 463.
7. Dunham, D.W. Planetary Occultations for 1999. Sky and Telescope (1999), February, 106-109.
8. Schober, H.J., Erikson, A., Lagerkvist, C.-I., Albrecht, R., Ornig, W., Schroll, A., y Stadler, M. Physical Studies of Asteroids. XXVIII. Lightcurves and photoelectric photometry of asteroids 2, 14, 51, 105, 181, 238, 369, 377, 416, 487, 626, 679, 1048 and 2183. Astronomy and Astrophysics Supplement Series (1994), 105, 281-300.
9. Sada, P.V. Ocultaciones de estrellas por asteroides en México.
http://pw1.netcom.com/~psada/mex_asteroid.htm.