

PAIN 2018

Programa de apoyo a la iniciación en la investigación

TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN:

Determinación de parámetros físicos de asteroides por medio de curvas de luz.

AUTORA:

Méndez Marcelo, Fátima Belén

FACULTAD - ESPECIALIDAD:

Ciencias e Ingeniería – Física

DOCENTE ORIENTADOR:

Pajuelo Cubillas, Myriam Virginia

AÑO (*):

2019

(*) Año de finalización de la investigación

Pontificia Universidad Católica del Perú



Programa de apoyo a la iniciación en la investigación (PAIN) 2018

Título del trabajo de investigación: Determinación de parámetros físicos de asteroides por medio de curvas de luz

Estudiante responsable: Fátima Belén Méndez Marcelo

Docente orientador: Myriam Pajuelo Cubillas

Facultad: Ciencias e Ingeniería

Especialidad: Física

Resumen

En este trabajo se presentan las curvas de luz obtenidas para el asteroide (155140) 2005 UD, descubierto el año 2005 por el *Catalina Sky Survey*. Se hizo el análisis fotométrico de tres conjuntos de datos en forma de imagen tomados desde el observatorio Les Makes, Saint-Louis en la Isla de La Reunión, el 4, 5, 6, 7, 8 y 9 de octubre, tomando como referencia 120 estrellas del catálogo UCAC-4, con el software Audela y se presentan los resultados gráficos obtenidos con el software Audela.

Por otro lado, se presenta el procedimiento que se siguió para la selección de un grupo de asteroides previo a una salida de observación realizada a la Reserva Nacional Paracas en el sur de Perú. Se detallan los preparativos y el proceso realizado; debido a diversos inconvenientes, no se pudieron registrar datos observacionales en esta salida.

Introducción

La técnica de fotometría aplicada al estudio de asteroides es ampliamente utilizada debido a la información que aporta acerca del periodo de rotación del cuerpo, por medio de curvas de luz; este análisis abre paso a la aplicación de métodos matemáticos para la determinación de otros parámetros físicos.

La fotometría consiste en medir la variación en el brillo del objeto de estudio a lo largo del tiempo, posteriormente se realiza el gráfico correspondiente -llamado curva de luz- de estos datos y se llega al análisis de resultados; este proceso puede ser más complejo dependiendo de los materiales con los cuales se cuente. Los resultados obtenidos por medio de esta técnica provienen del hecho de que los asteroides, en este caso, no emiten luz propia; por lo tanto, el brillo que se detecte desde la Tierra es producto del reflejo de la luz solar sobre ellos. Es por esto, que su variación puede brindar datos importantes acerca de su periodo, forma, entre otros.

La importancia del estudio de asteroides cercanos a la Tierra radica en la información que se puede obtener de estos, ya que en las características físicas que poseen se deben a los diversos factores a los cuales han estado expuestos desde la formación del sistema solar y por esta razón, pueden también ayudar a predecir su comportamiento en el futuro. Durante los últimos años se ha descubierto gran cantidad de nuevos asteroides; sin embargo, solamente un pequeño porcentaje de ellos ha sido caracterizado físicamente; esto, unido a su relativa accesibilidad, los hacen un objeto de estudio tanto provechoso como enriquecedor para la ciencia.

Teoría

Las fórmulas que se definen para encontrar la magnitud de catálogo del asteroide, son las siguientes:

$$\text{Magnitud} = (I_{mt} - I_{mc}) + M_c$$

donde: I_{mt} : magnitud instrumental del objetivo
 I_{mc} : magnitud instrumental de la estrella de comparación
 M_c : magnitud de catálogo de la estrella de comparación

Método y resultados

La primera parte de este proyecto consistió de investigación bibliográfica y estudio teórico sobre el tema de fotometría de asteroides. Se tomaron en cuenta diversas condiciones para selección de objetivos tomando como referencia características señaladas por Warner, B. (2016) tales como visibilidad, cercanía a la Tierra,

tamaño y características físicas ya conocidas. También se utilizaron mapas astronómicos, así como bases de datos y catálogos.

La primera etapa del proyecto comprendió la implementación de los instrumentos necesarios desde la Sección de Física de la PUCP, en Lima. Se cuenta con el telescopio de 12" Meade LX200, dos cámaras CCD (Watec 120N y DFK 21AU04.AS), así como una laptop con insertador de tiempo y GPS. Se puso en práctica el procedimiento para el armado de dicho telescopio, su funcionamiento electrónico y la alineación del telescopio buscador desde el techo de Física - PUCP. Posteriormente se adquirieron los implementos necesarios para su traslado y uso en lugares remotos.

Luego del análisis en cuanto a condiciones climatológicas y criterios de visibilidad desde Perú, se seleccionó la Reserva Nacional Paracas para realizar las observaciones, se realizó una salida de dos noches, desde el 2 hasta el 4 de febrero de 2019; luego de algunos inconvenientes logísticos y climatológicos, se hizo el proceso de puesta en estación del telescopio con el fondo fijo de estrellas (anexo 1).

Dada la falta de datos propios adecuados para su análisis fotométrico, se solicitaron imágenes desde el observatorio *Les Makes, Saint-Louis* en Francia para la aplicación de los métodos fotométricos. Estas fueron tomadas por F. Vachier, A. Klotz, J.-P. Teng, A. Peyrot, P. Thierry, J. Berthier y pertenecen al asteroide de tipo Apollo 2005 UD (155140) descubierto el año 2005 por el *Catalina Sky Survey*; los datos fueron tomados en el mes de octubre de 2018 desde las 20:04:20 hasta las 23:39:44 horas del 4, desde las 23:57:22 del 4 hasta las 23:57:14 del 5, 23:57:57 del 5 hasta las 01:08:17 del 6, 20:03:34 hasta las 23:57:33 del 7, 23:58:18 del 7 hasta las 23:57:33 del 8 y desde las 23:58:14 del 8 hasta las 00:08:40 del 9. Las imágenes fueron corregidas utilizando dark y flat frames, además cada una de ellas fue tomada con 3 segundos de exposición.

Los instrumentos utilizados fueron un reflector de 0.6 m y una cámara SBIG STL-11000 3 CCD Camera Kai11000 con una longitud focal equivalente de 4.8873 m, mientras que la ubicación del observatorio fue de -21.1996 grados de latitud, 55.4099998474 grados de longitud y 991.900024414 metros de altitud sobre el nivel del mar, así como una presión promedio de 914.5 hPa. Se procedió a analizar las imágenes utilizando el software Audela. Se cargaron los catálogos UCAC-4, SKYBOT, PPMXL y USNOA2 para identificar los cuerpos en las imágenes (anexo 2).

Para la construcción de la curva de luz del asteroide, primero se identificó el asteroide utilizando el catálogo SKYBOT; posteriormente, se descartaron las imágenes de baja calidad, movidas y que presentaban algún otro cuerpo (avión, satélite) que pudiera ser perjudicial para los resultados de la fotometría, quedaron 51 imágenes aptas para la selección de estrellas de referencia de entre las 708 disponibles.

Para seleccionar las mejores estrellas de referencia, primero se ordenaron de acuerdo al número de veces que aparecían en el campo de las imágenes, pues se necesita que aparezcan el mayor número de veces posible para hacer la comparación de magnitud, se seleccionaron las que aparecían más de 9 veces. Luego se descartaron las que no pertenecían al catálogo UCAC-4 y las que tenían una desviación estándar mayor 0.15 en magnitud. Quedaron 120 estrellas de las cuales se escogió 10 referencias, con estas se procedió a construir la curva de luz.

Activities | Toplevel | Thu Mar 21, 17:54 | Photometric V3

id	Name	Nb img	Nb mes	Moy Mag	StDev Mag	Nb Err PSF	Radius min	Flux min
543	PPMXL_2118918694260390531	19	18	17.1066	0.1137	1	4	2693.04
560	PPMXL_2118845760143252757	18	18	16.0770	0.1105	0	4	2848.26
586	PPMXL_2118876525498781852	18	18	17.3680	0.1421	0	3	1698.92
601	PPMXL_2118832622287883382	18	18	18.0168	0.1226	0	3	1851.46
685	UCAC4_489-003709	18	18	12.1908	0.1157	0	6	98647.96
693	PPMXL_2118919115549785008	18	18	17.6772	0.1266	0	4	1728.35
95	PPMXL_2118843327321245829	17	17	16.5389	0.0845	0	4	2208.17
104	UCAC4_489-003726	17	17	11.5924	0.1228	0	4	2347.52
242	PPMXL_2118819284819900492	17	17	16.5377	0.5821	0	6	1263.30
405	UCAC4_490-003818	17	17	15.4188	1.0956	0	5	161.80
314	PPMXL_2118819482039328960	17	17	17.6525	0.1368	0	3	1561.06
130	UCAC4_490-003839	21	17	11.4122	0.1154	0	7	227448.67
434	UCAC4_489-003859	17	17	15.9226	0.1267	0	6	2924.87
424	USNOA2_0975-00605025	17	17	17.7083	0.0916	0	4	1793.90
475	PPMXL_2118822197121769742	17	17	17.6548	0.3664	0	3	1435.22
492	PPMXL_2118910589964438346	17	17	17.9113	0.1497	0	3	1736.03
497	PPMXL_2118906697651641775	21	17	19.6175	1.8177	4	4	12.50
510	PPMXL_211883800199080698	17	17	17.2829	0.1176	0	3	1458.26
579	UCAC4_489-003707	17	17	15.0774	0.1281	0	5	6857.15
582	UCAC4_489-003708	17	17	14.2967	0.1168	0	6	15262.54
698	USNOA2_0975-00605930	17	17	17.9487	0.1632	0	3	1391.30
14	PPMXL_2118894431556240522	16	16	17.6992	0.1860	0	4	1811.76
103	PPMXL_2118810594815669927	17	16	17.4741	0.1652	1	4	1074.12
104	UCAC4_489-003726	17	16	13.1161	0.1653	0	4	1233.38
119	UCAC4_489-003770	16	16	12.7656	0.0923	0	6	16933.55
125	UCAC4_489-003771	16	16	15.3413	0.1150	0	5	1738.43
227	PPMXL_2118819540353028825	16	16	17.1633	0.1556	0	3	2541.62
489	UCAC4_490-003816	16	16	12.8223	0.1158	0	6	6711.12
490	UCAC4_490-003817	16	16	12.4252	0.1178	0	5	68020.30
497	UCAC4_490-003819	16	16	17.1070	0.1461	0	4	1188.40
286	PPMXL_2118839538332581590	16	16	16.7679	0.1992	0	4	1256.67
371	PPMXL_2118843401774261496	17	16	16.3884	0.1088	1	4	2741.25
415	UCAC4_490-003870	17	16	14.6380	0.9429	1	5	196.85
416	UCAC4_490-003869	16	16	15.3684	0.1281	0	4	1678.93

Nb References : 0 - Nb Sciences : 1 - Nb Rejetees : 708

Gestion	References	Sciences
Charge	Constantes	Mag
Sauve	Stars	Clean graph
	Timeline	Fermer

Mem Job : Mem Free % : Swap Free % :

Activities | Toplevel | Thu Mar 21, 17:45 | Photometric V3

id	Name	Nb img	Nb mes	Moy Mag	StDev Mag	Nb Err PSF	Radius min	Flux min
284	UCAC4_490-003825	25	24	13.1768	0.0964	1	5	42560.90
322	UCAC4_490-003837	25	24	12.8847	0.1141	1	6	52773.83
329	PPMXL_2118832066528315030	25	24	16.3601	0.1187	1	4	1975.30
342	UCAC4_490-003844	24	24	13.4138	0.1118	0	5	9556.15
392	PPMXL_2118909612760840667	24	24	16.8957	0.1398	0	4	1080.60
419	PPMXL_2118597423691154023	24	24	16.9540	0.0570	0	4	2717.50
556	PPMXL_2118833546998679672	24	24	17.1332	0.1240	0	4	1849.55
573	PPMXL_2118859260797733931	24	24	16.5995	0.0835	0	3	2549.20
587	PPMXL_2118886136818312415	24	24	16.2589	0.1012	0	4	1474.92
609	PPMXL_211885845626117944	24	24	15.9798	0.1035	0	5	3007.88
1	UCAC4_489-003723	26	25	13.9850	0.1004	1	6	18298.10
11	UCAC4_489-003730	25	25	15.2628	0.1215	0	5	5526.60
57	UCAC4_489-003747	25	25	15.0525	0.1210	0	4	1991.28
64	PPMXL_2118910075509575259	25	25	15.3842	0.1859	0	4	1704.88
71	UCAC4_489-003754	26	25	14.5094	0.1252	1	6	3290.42
152	PPMXL_2118832580298362817	25	25	16.5218	0.1595	0	5	1454.53
287	UCAC4_490-003826	26	25	14.3824	0.1017	1	6	13445.55
289	UCAC4_490-003827	25	25	16.4018	0.1034	0	4	2036.95
344	UCAC4_490-003845	27	25	14.2256	0.0836	2	4	4911.07
347	UCAC4_490-003846	26	25	14.5328	0.0939	1	6	3162.03
350	UCAC4_490-003847	25	25	15.5148	0.1134	0	4	2109.00
515	USNOA2_0975-00607613	25	25	17.4307	0.1249	0	3	1860.57
646	PPMXL_2118857095002088913	25	25	15.7706	0.1140	0	6	3696.50
10	UCAC4_489-003726	26	26	16.2520	0.1933	0	4	2035.40
59	UCAC4_489-003748	26	26	14.8960	0.1073	0	5	2743.50
266	PPMXL_2118832642207638121	26	26	17.0175	0.0944	0	3	1449.18
292	UCAC4_490-003828	26	26	14.4085	0.1093	0	5	12927.75
293	PPMXL_211885720264110791	28	26	15.6795	0.1562	2	6	3097.43
297	UCAC4_490-003829	26	26	14.6657	0.1055	0	6	10285.85
315	UCAC4_490-003835	26	26	12.5687	0.1093	0	6	70207.40
352	UCAC4_490-003840	26	26	13.9454	0.1033	0	4	6121.55
381	UCAC4_490-003857	26	26	13.6793	0.1188	0	6	6728.75
408	PPMXL_2118856750947710325	26	26	15.9530	0.4933	0	4	1011.87
496	PPMXL_2118857492674627948	26	26	16.5903	0.0848	0	5	2043.10
415	UCAC4_490-003870	26	26	16.3174	0.1073	1	4	1517.18

Nb References : 0 - Nb Sciences : 0 - Nb Rejetees : 709

Gestion	References	Sciences
Charge	Constantes	Mag
Sauve	Stars	Clean graph
	Timeline	Fermer

Mem Job : Mem Free % : Swap Free % :

Figura 2: Selección de las estrellas de referencia (Reference)

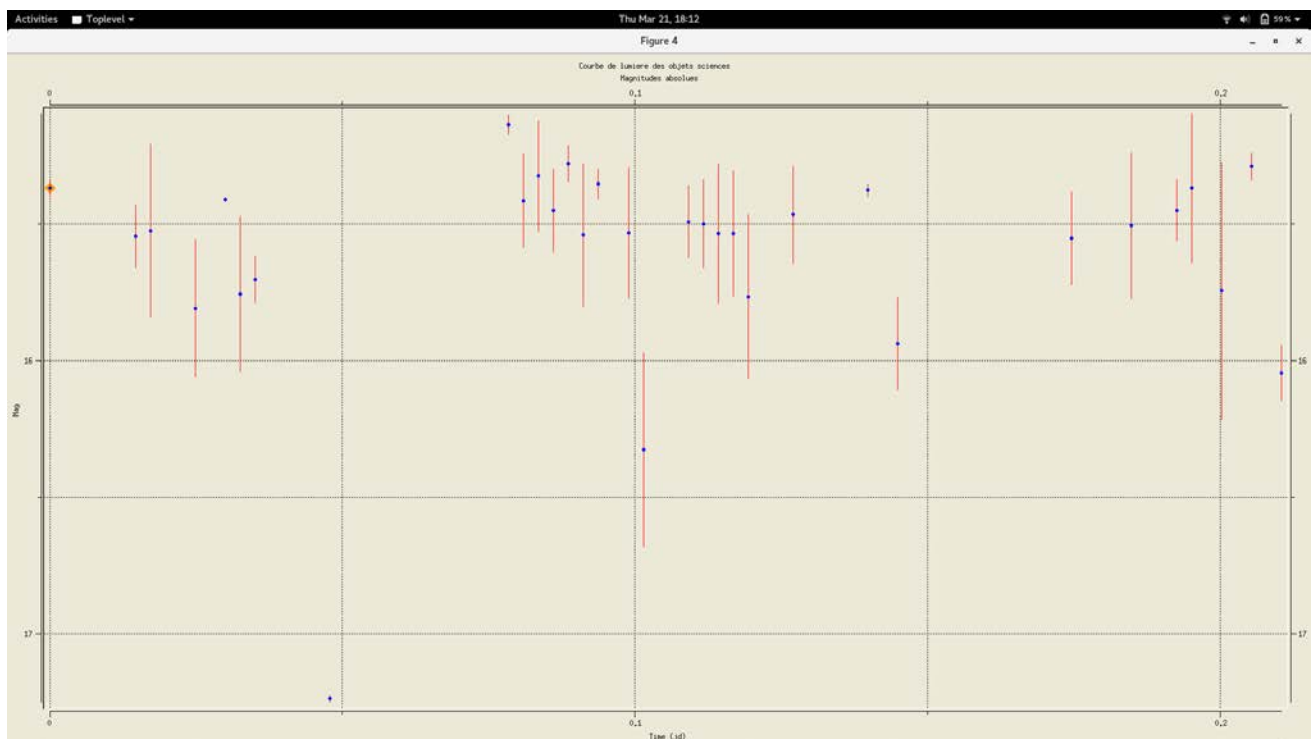
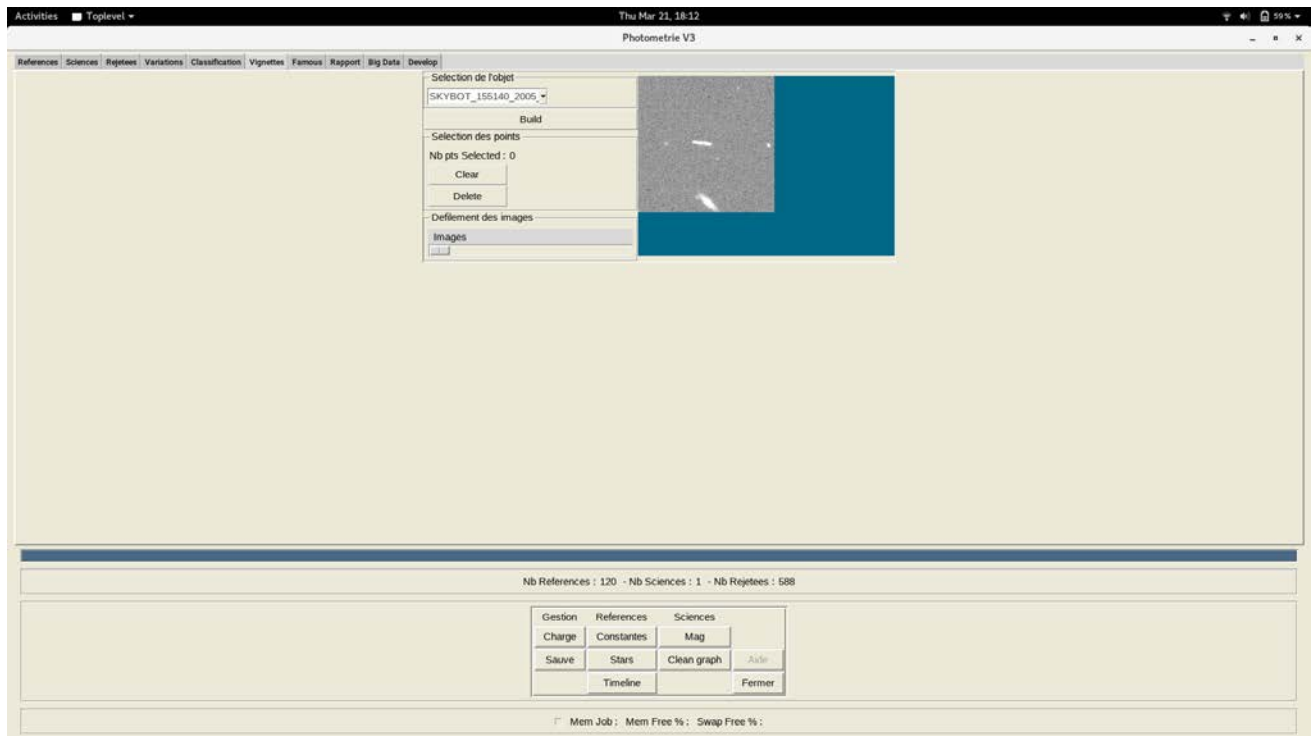


Figura 3: Construcción de la curva de luz

Finalmente, se hizo el plot de los datos, este mostraba un comportamiento periódico, pero con algunos vacíos en la escala de tiempo, ergo, se necesita más datos para completar la curva. Se ensayó un ajuste sinusoidal con los datos relevantes (los que muestran menos incertidumbre) para encontrar el periodo.

Adicionalmente, también se usó el programa Mathematica para el gráfico y para encontrar la curva sinusoidal que más se ajusta a los puntos. Se obtiene la frecuencia angular y transformando el tiempo juliano, se obtiene un periodo de 4.9 horas.

$$f(t) = 15.5 - 0.3 \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi}{0.20416}t - 0.7\right)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 30.775$$

$$24 * T = 4.9 \text{ horas}$$

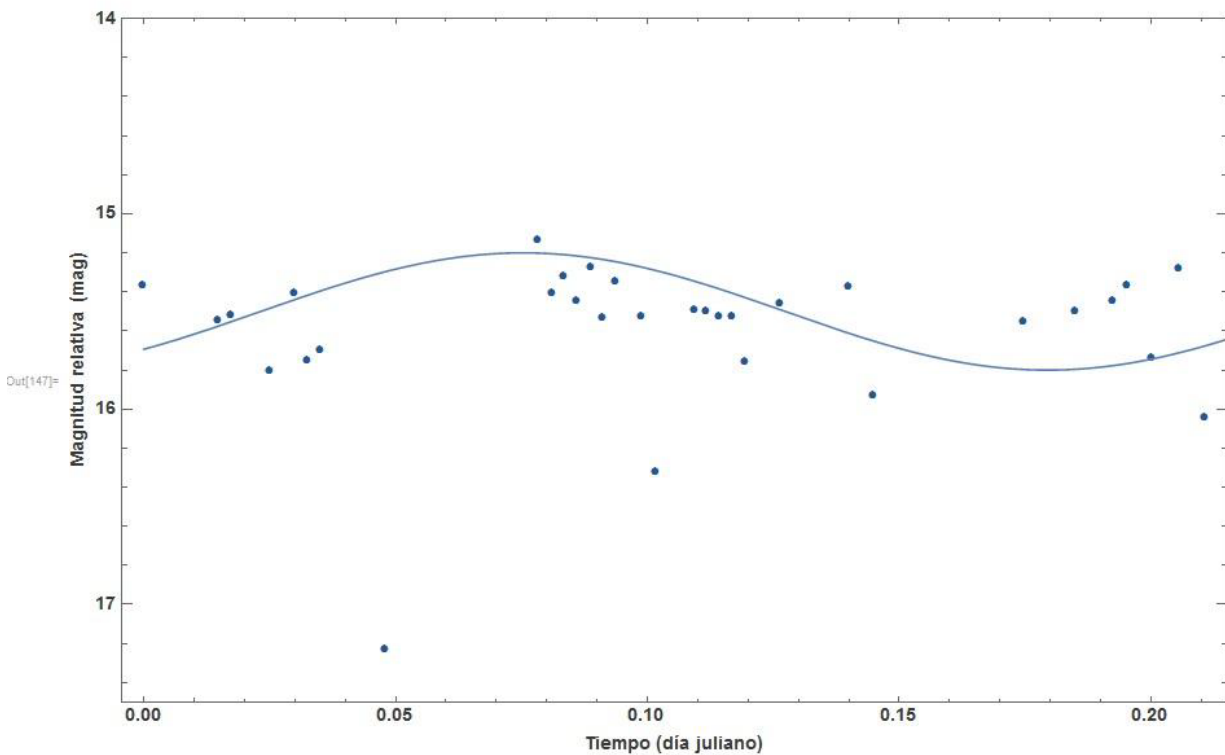


Figura 4: Gráfico de la curva de luz y ajuste sinusoidal

Discusión y observaciones

Se sabe que el periodo de rotación aproximado del asteroide (155140) 2005 UD es de 5.231 horas, de acuerdo con el trabajo de Kinoshita, D. et al. (2006). Luego del ajuste, se obtuvo un periodo de 4.9 horas, valor cercano al real; se tomó en consideración la desviación estándar de cada punto de la curva de luz.

La propuesta original consistía en utilizar datos propios para hacer el análisis fotométrico de asteroides; sin embargo, se presentaron diversos inconvenientes a lo largo del proceso. En primer lugar, las condiciones climatológicas cambiantes de la época afectaron a la elección del lugar y la fecha para la salida de observación, se hizo lo posible por encontrar las mejores condiciones, pero aún así no se pudieron obtener

datos propios. Otra dificultad presente en el proyecto estuvo relacionada con el software Audela, pues sus requerimientos necesarios eran distintos dependiendo del sistema operativo, además los manuales necesarios para su uso están principalmente en francés. Se hizo el intento de procesar los datos con Python y DS9, pero también se tuvo inconvenientes para la instalación y el uso de ambos programas. Estos aspectos deben ser tomados en consideración para futuros proyectos similares.

Cabe mencionar que posteriormente, se planeó y realizó una salida al Observatorio de Ica del Instituto Geofísico del Perú (IGP) de manera paralela al proyecto, durante los días 23 y 24 de febrero. En esta salida se obtuvieron imágenes; sin embargo, la cámara CCD utilizada abarca un campo muy pequeño y no se captaron estrellas en dichas imágenes, por lo tanto no fue posible hacer fotometría diferencial con estos datos.

Los datos que se solicitaron desde Francia son de buena calidad y fueron provistos con toda la información pertinente de las condiciones de observación; el análisis realizado tiene una complejidad básica, pero es de gran valor informativo y práctico.

Referencias

Audela. A Free, Open source Astroimaging Software. Audela features. Recuperado de: <http://www.audela.org/dokuwiki/doku.php/en/features>

Botkke, W. F., Cellino, A., Paolicchi, P., Binzel, R. P. (2002). *Asteroids III* (1ra ed.). U.S.: University of Arizona Press.

Carry, B., Berthier, J. (2018). *ViSiON: Visibility Service for Observing Nights*. Recuperado de: arXiv:1806.09425 <[astro-ph.IM] <https://arxiv.org/abs/1806.09425>> <https://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi#top> <http://vo.imcce.fr/webservices/miriade/?forms>

Galache, J., Beeson, C., McLeod, K. y Elvis, M. *The need for speed in Near-Earth Asteroid characterization*. Planetary and Space Science.

JPL Small-Body Database Browser. California Institute of Technology. <https://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi#top>

Kaasalainen, M., Torppa, J. (2000) *Optimization Methods for Asteroid Lightcurve Inversion*. Observatory, University of Helsinki.

Kinoshita, D., Ohtsuka, K., Sekiguchi, T. y otros (2006) *Surface heterogeneity of 2005 UD from photometric observations*, Astronomy and Astrophysics.

The University of Arizona. *A Guide to Minor Planet Photometry*. Recuperado de: <http://www.minorplanet.info/ObsGuides/Misc/photometryguide.htm>

Warner, B. D. (2006). *A Practical Guide to Lightcurve Photometry and Analysis*. (1ra ed.) New York: Springer.

Warner, B. D., Harris, A. W., Pravec, P. (2009). *The Asteroid Lightcurve Database (LCDB)*. Recuperado de: <http://www.MinorPlanet.info/lightcurvedatabase.html>

Anexos

Anexo 1: Fotografías de la implementación del telescopio y la salida de observación



Imagen 1: Telescopio montado en la facultad de física



Imagen 2: Campamento en la Reserva Nacional Paracas

Anexo 2: Proceso de obtención de la curva de luz para el asteroide 2005 UD

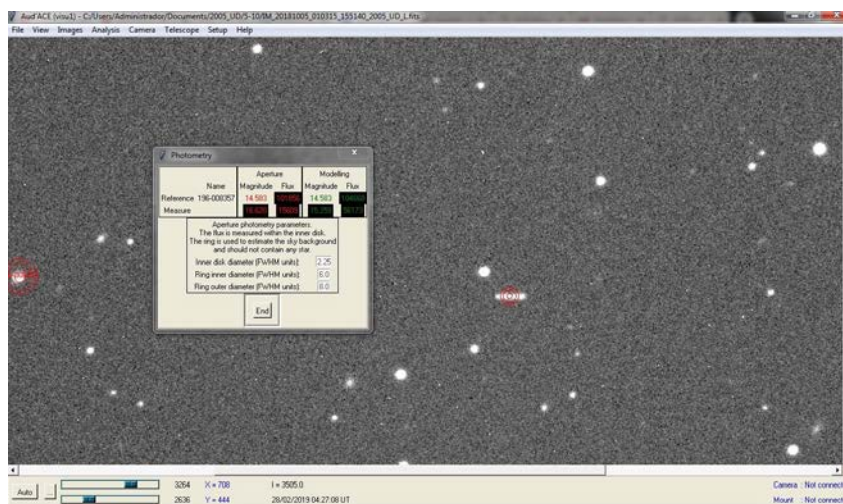


Imagen 3: Interfaz del software Audela

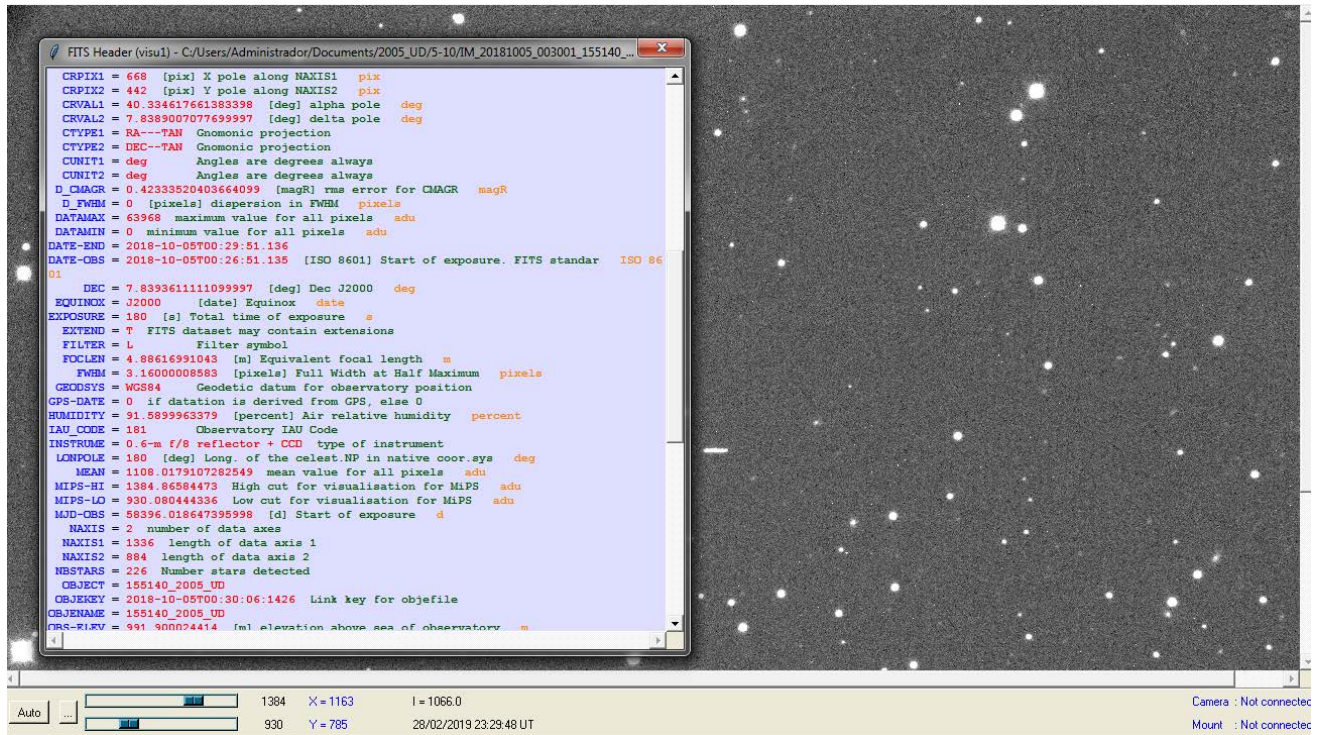


Imagen 4: Header FITS con información acerca de las condiciones de observación

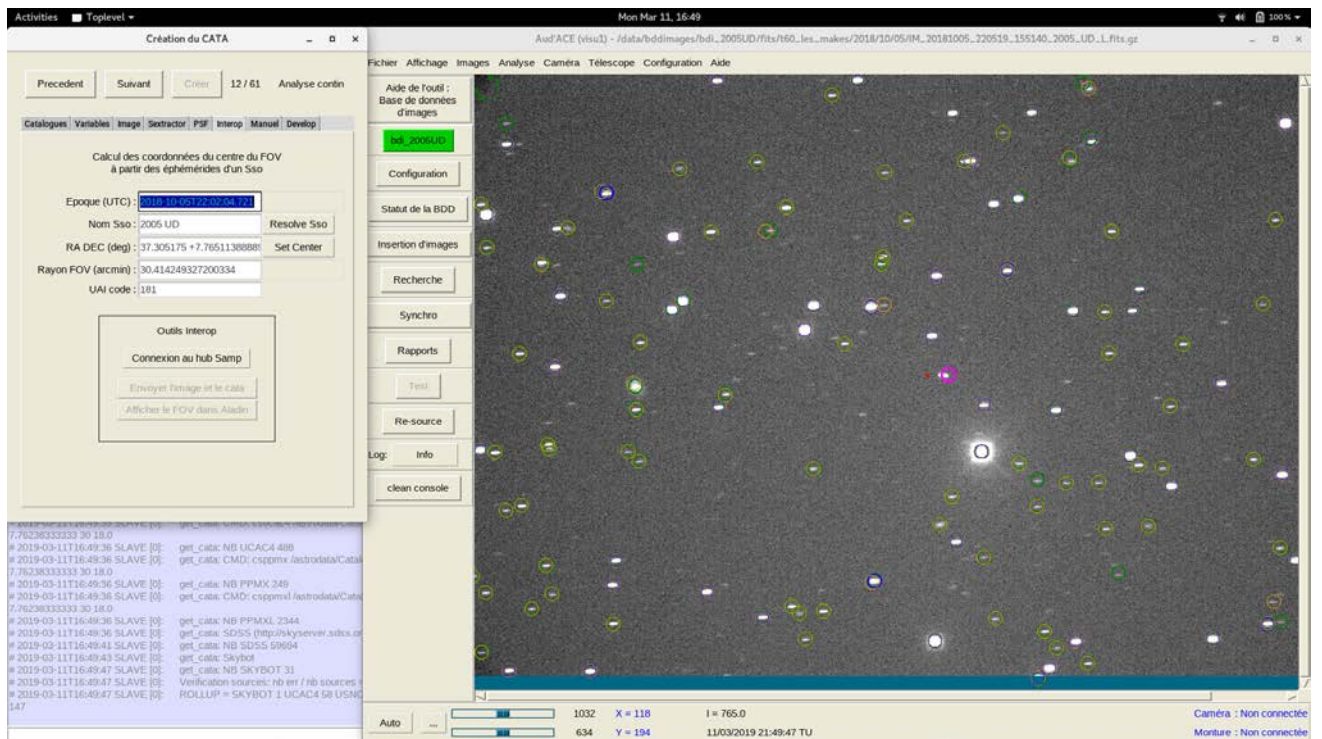


Imagen 5: Identificación de los cuerpos en Audela

