



Título: L'ÒRBITA DE LA LLUNA ÉS CIRCULAR O EL·LÍPTICA?)

Autores: José Manuel Pérez Redondo (profesor), Jaume Bague Companys (17), Dario Jiménez Llas (17) y Albert Morea Font (16)

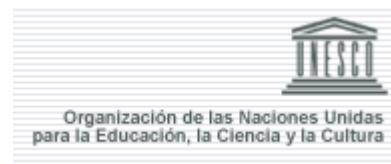
Centro de Enseñanza: INS Alcarràs, Plaça Arquitecte Miquel S/N, Alcarràs, 25180

E-mail: josemanuel.perez.redondo@gmail.com



ÍNDICE:

- [Abstract](#)
- [Resumen](#)
- [Desarrollo](#)
- [Referencias](#)



Abstract

Levi ben Gerson (1288-1344), also called Gersonides or Ralbag, measured the variations of the size of the Moon and of other bodies of the sky (O'Meara, 2010). To do it he designed the Jacob's staff.

We have applied the Gersonides' procedure to calculate the angular diameter of the Moon and from the data deduce the shape of the lunar orbit. To do it we have substituted the Jacob's staff for the photographic camera, and the feather and the paper for the computer and the computer software.

To photograph the Moon we have taken into account the moment of the day, then although we have checked that during a same terrestrial rotation the Moon does not vary his sizes, we have observed, photographed and calculated that when it is near the horizon has a different shape owed to the phenomenon of the astronomical refraction (Galadí, 2008).

Resumen

Levi ben Gerson (1288-1344), también llamado Gersonidas o Ralbag, midió las variaciones del tamaño de la Luna y otros cuerpos celestes (O'Meara, 2010). Para hacerlo diseñó una herramienta llamada el "bastón de Jacob" (*Jacob's staff*).

Nosotros hemos aplicado el procedimiento de Gersonidas para calcular el diámetro angular de la Luna y a partir de los datos obtenidos deducir la forma de la órbita lunar: elíptica. Para hacerlo hemos substituido el bastón de Jacob per la cámara fotográfica, y la pluma y el papel por el ordenador y el software informático.

Para fotografiar la luna hemos tenido en cuenta el momento del día, pues aunque hemos comprobado que durante una rotación terrestre la Luna no varía su tamaño, sí que hemos podido observar, fotografiar y calcular que cuando está cerca del horizonte tiene una forma diferente debido al fenómeno de la refracción astronómica (Galadí, 2008) .

Resum

Levi ben Gerson (1288-1344), també anomenat Gersonides o Ralbag, va mesurar les variacions de la mida de la Lluna i d'altres astres (O'Meara, 2010). Per fer-ho va dissenyar una eina anomenada "bastó de Jacob" (*Jacob's staff*).

Nosaltres hem aplicat el procediment de Gersonides per calcular el diàmetre angular de la Lluna i a partir de les dades deduir la forma de l'òrbita lunar. Per fer-ho hem substituït el bastó de Jacob per la càmera fotogràfica, i la ploma i el paper per l'ordinador i els software informàtic.

Per fotografiar la Lluna hem tingut en compte el moment del dia, doncs encara que hem comprovat que durant una mateixa rotació terrestre la Lluna no varia les seves mides, si que hem observat, fotografiat i calculat que quan està prop de l'horitzó té una forma diferent degut al fenomen de la refracció astronòmica (Galadí, 2008).

Desarrollo

1. SOBRE LES FOTOGRAFIES.

1.1. CÀLCUL DEL CAMP DE LA CÀMERA.

L'equip fotogràfic utilitzat durant el treball és una càmera Sony-alfa-200 amb un objectiu de 18-70 mm.

Per calcular el camp hem emprat el procés explicat per Raül Palau al seu treball de recerca (Palau, 2012) i que presentem a continuació:

Amplada del xip de la Sony-alfa-200 = 3872 px

Dades obtingudes:

$$x = 500 \text{ cm}, \quad y = 172 \text{ cm}$$

$$\arctg(y/x) = \arctg(86/500) = 9^{\circ}45'34''$$

$$2 \cdot \arctg(x/y) = 19^{\circ}31'08'' = 70268''$$

$$1\text{px} = 18''$$

Alçada del xip de la Sony-alfa-200 = 2592 px

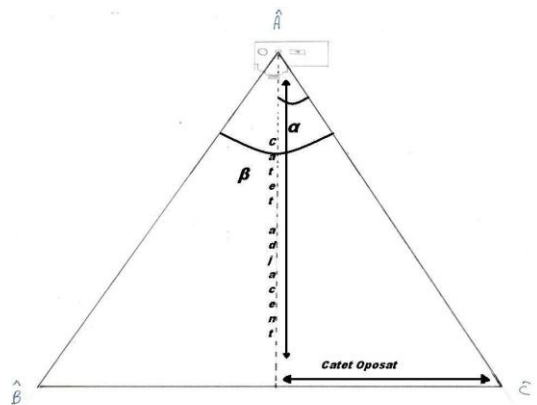
Dades obtingudes:

$$x = 500 \text{ cm}, \quad y = 113 \text{ cm}$$

$$\arctg(y/x) = \arctg(56,5/500) = 6^{\circ}26'50''$$

$$2 \cdot \arctg(x/y) = 12^{\circ}53'40''$$

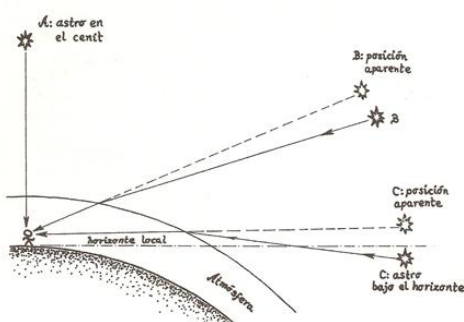
$$1\text{px} = 18''$$



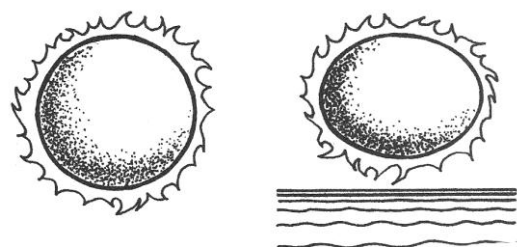
1.2. EL PROBLEMA DE LA LLUNA OVALADA.

1.2.1 Introducció.

Segons David Galadí (2008), quan la Lluna es troba prop de l'horitzó sembla tenir forma ovalada, fet que s'explica mitjançant el fenomen de la refracció astronòmica: “La llum que prové de l'espai es refracta quan arriba a l'atmosfera terrestre, fet que modifica la forma i la posició dels objectes que s'observen al cel”.



Il·lustració 2: Mecanisme de la refracció astronòmica (Galadí, 2008)



Il·lustració 3: "El Sol i la Lluna canvien de forma aparent" (Galadí, 2008)

Aquest fenomen també ha estat citat per Helen Ross en un article de la revista Astronomy (2011).

1.2.2. Mètode.

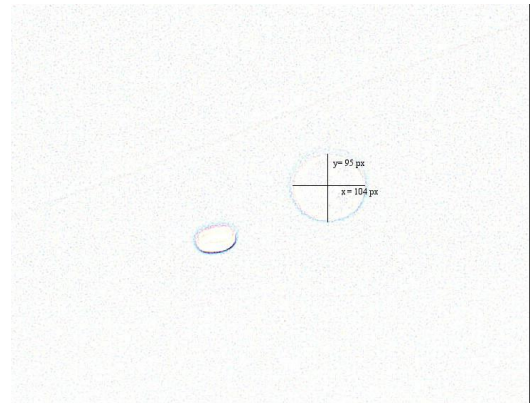
Hem fet una sèrie de fotografies a la Lluna quan estava prop de la línia de l'horitzó. Després amb el *Gimp*, vam mesurar els diàmetres horitzontal i vertical.

El processat de les imatges amb el Gimp ha consistit en (imatges a l'annexe):

- Filtre *Detecció de Vores*, modalitat *Diferència de Gaussians*.
- *Eina Compàs*, per mesurar el diàmetre de la imatge de la Lluna.
- *Selecció el·líptica*, per ajustar el cercle (que apareix per defecte) a la forma de la imatge de la Lluna obtinguda (*Opcions de l'eina, Mida*).



Il·lustració 5: Imatge de la Lluna prop de l'horitzó.



Il·lustració 4: Tractament de la imatge anterior amb Gimp

1.2.3. Resultats.

Tal i com es pot observar a la figura anterior, la lluna del dia 12 de setembre de 2011 quan estava situada prop de l'horitzó tenia un diàmetre horitzontal de 104 píxels i un diàmetre vertical de 95 px. La diferència entre ells és d'un 9,5%.

1.2.4. Conclusions.

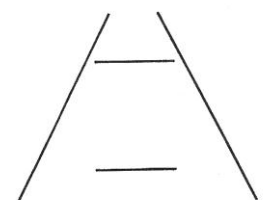
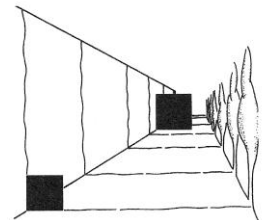
Hem pogut constatar la veracitat de l'efecte de la refracció astronòmica sobre la forma de la Lluna.

Encara que és un efecte visual no es poden realitzar fotografies astronòmiques prop de l'horitzó, doncs varia la forma dels cossos celestes.

1.3. EL PROBLEMA DE LA PERSPECTIVA.

1.3.1. Introducció.

Canvia la mida de la Lluna en una mateixa nit (o dia)? És la Lluna més gran quan està prop de l'horitzó que al zenit?



Il·lustració 6: Il·lusions. A dalt el quadrat negre té les mateixes mides. A baix, la il·lusió de Ponzo. (Galadí, 2008)

Segons David Galadí (2008) i Helen Ross (2011) es tracta d'un fenomen òptic o de perspectiva, i no té res a veure amb la refracció astronòmica:

“The effect has nothing to do with refraction caused by the atmosphere. If that were the cause, then it would be clear in photographs, but it isn't, unless you have indulged in trick photography. The Moon is physically the same size. The only difference is that it may appear oval near the horizon -with its vertical diameter less than its horizontal diameter- so its area can be slightly reduced”.

1.3.2. Mètode.

Hem realitzat fotografies de la Lluna el mateix dia en diferents hores.

Posteriorment hem tractat les imatges amb el programa Gimp2 tal com hem explicat a l'apartat 1.1 (lluna ovalada).

1.3.3. Resultats.

Data	Hora	Altura de la Lluna	Azimut	Diàmetre pixels	Diàmetre angular
13/09/2011	6:44:00 AM	20°03'	257°13'	104,00	31,20
	6:46:00 AM	19°41'	257°34'	103,00	30,90
	10:04:00 PM	18°40'	97°28'	102,00	30,60
	10:05:00 PM	18°51'	97°37'	101,00	30,30
			Mitjana	102,50	30,75
			Desviació valor més alt (%)	0,01	0,01
			Desviació valor més baix (%)	0,01	0,00
14/09/2011	7:23:00 AM	23°33'	260°32'	100,00	30,00
	7:26:00 AM	23°	261°03'	100,00	30,00
	10:21:00 PM	16°44'	89°46'	97,00	29,10
	10:23:00 PM	17°07'	90°04'	99,00	29,70
			Mitjana	99,00	29,70
			Desviació valor més alt (%)	0,01	0,01
			Desviació valor més baix (%)	0,02	0,02
03/05/2013	4:00:00 AM	9°23'	115°30'	109,00	32,70
	4:15:00 AM	11°39'	118°19'	109,00	32,70
	4:30:00 AM	13°52'	121°12'	106,00	31,80
	4:45:00 AM	16°01'	124°10'	113,00	33,90
	5:00:00 AM	23°51'	137°00'	112,00	33,60
	5:15:00 AM	20°07'	130°22'	112,00	33,60
	5:30:00 AM	22°02'	133°38'	110,00	33,00
				Mitjana	110,14
			Desviació valor més alt (%)	0,03	0,03
			Desviació valor més baix (%)	0,04	0,04

1.3.4. Conclusions.

Com es pot veure a la taula anterior el canvi de diàmetre de la Lluna varia per sota del 0,04%, valor demostra la hipòtesi que la Lluna no canvia de diàmetre durant el seu ascens o descens al cel en un mateix dia.

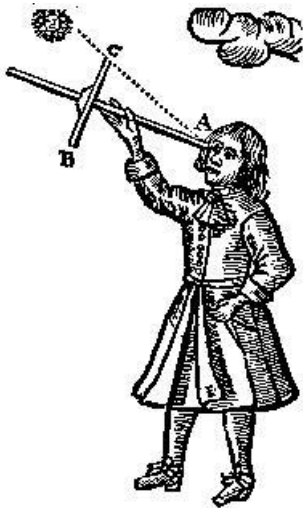
2. ESTUDI DE L'ÒRBITA DE LA LLUNA.

2.1. Introducció.

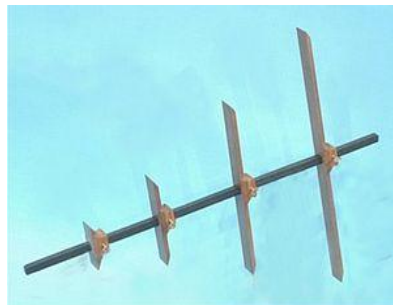
Levi ben Gerson (1288-1344), també anomenat Gersonides o Ralbag, va mesurar les variacions de la mida de la Lluna i d'altres astres (O'Meara, 2010). Per fer-ho va dissenyar una eina anomenada "bastó de Jacob" (*Jacob's staff*), que consistia en una vara encolada a un regle.

Amb ell va poder mesurar les distàncies de diferents objectes del cel i ser el primer astrònom en calcular les el·lipsis dels astres, anticipant-se a la teoria de l'error de Galileu.

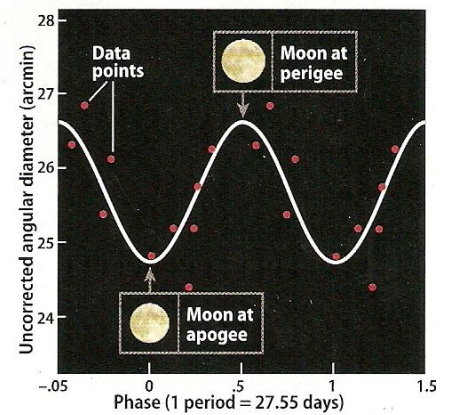
D'entre els seus estudis, ens va cridar l'atenció els resultats que va obtenir al mesurar el diàmetre angular de la Lluna, segons els quals, aquest valor va variant de forma regular. Les seves mesures van donar valors de 31 a 34 minuts d'arc, amb un error inferior al 6%. (O'Meara, 2010).



Il·lustració 6: *Jacob's staff*, de John Sellers, *Practical*



Il·lustració 8: www.wikipedia.org



The varying size of the Moon over time became clear to Kevin Krisciunas, who visually measured and graphed its changing sizes with homemade equipment. Kevin Krisciunas, *Astronomy*: Roen Kelly

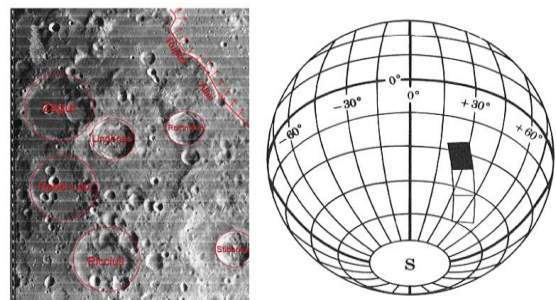
Il·lustració 7: O'Meara (2010)

L'error que admetrem a les nostres mesures serà inferior al 5% doncs ell va cometre un error del 6% amb mitjans tècnics molt inferiors als nostres.

Entenem, segons aquestes dades, que l'òrbita de la Lluna no pot ser circular, doncs el seu diàmetre seria constant i no variable com indica la gràfica anterior. Aquest serà l'objectiu del nostre treball: estudiar el diàmetre lunar i concloure com és la seva òrbita.



Il·lustració 10: Catalin Paduraru
Astronomy Picture of the Day, 2012 November 29



Il·lustració 9: Cràter Rabbi Levi en menció a Levi ben Gerson
(Lunar and Planetary Institute, *Digital Lunar Orbiter Photographic Atlas of the Moon*, Photo Number IV-083-H3)

2.2. Mètode.

En aquest treball hem repetit aquest experiment, però substituint l'aparell de Levi ben Gerson per la càmera compacta Sony Alfa (amb l'objectiu de 70 mm) col·locada sobre un trípode. Amb aquest material s'han fet fotos a la Lluna durant diferents períodes.

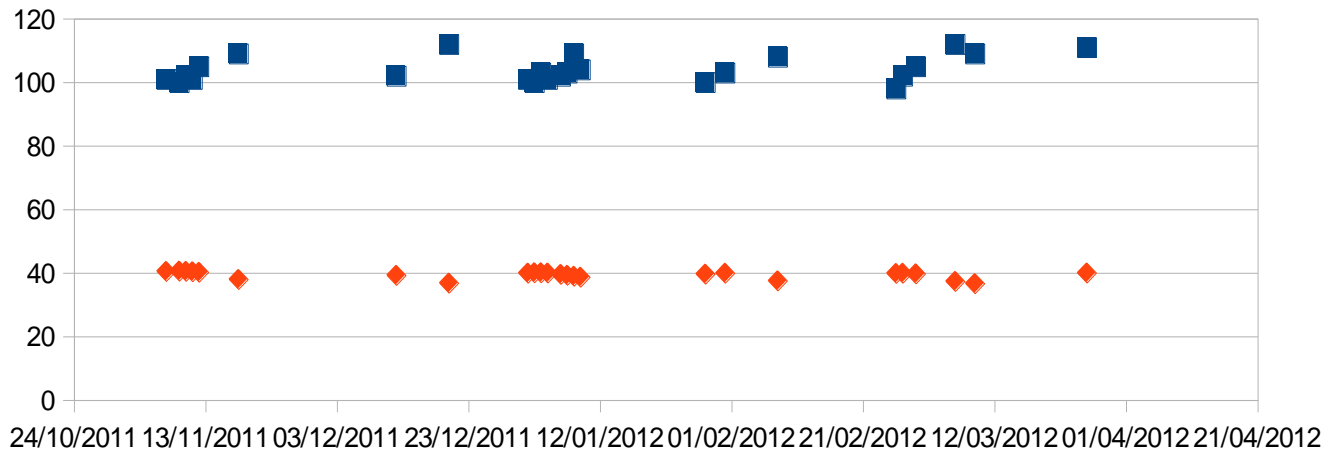
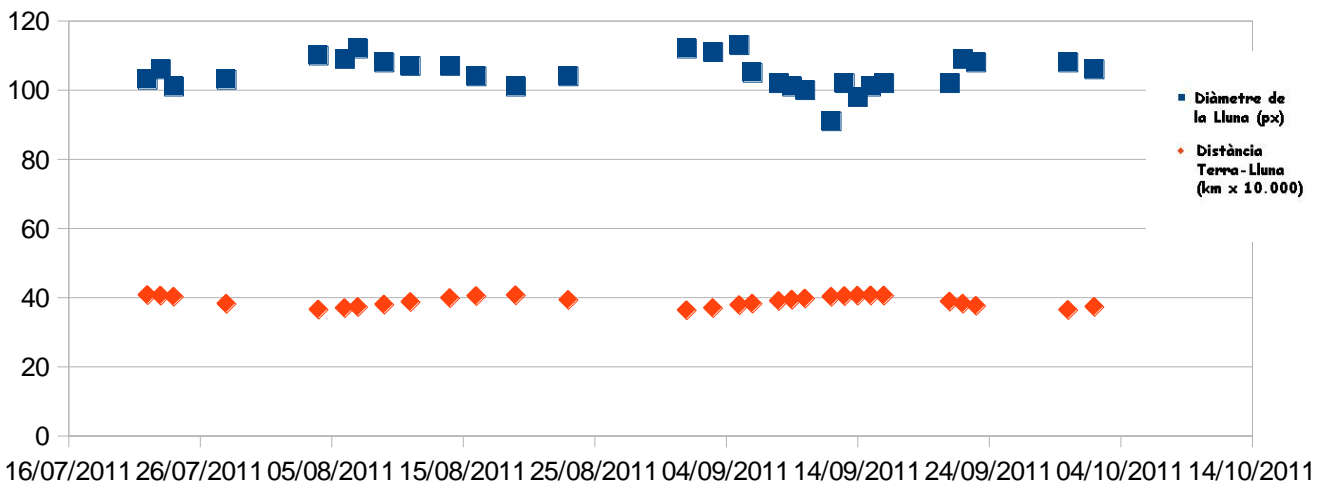
Posteriorment s'ha calculat el diàmetre (en píxels) de la Lluna mitjançant el programa informàtic *Gimp*. El procediment d'aquest punt ha estat explicat a l'apartat 1.1., on descrivim el problema de la lluna ovalada.

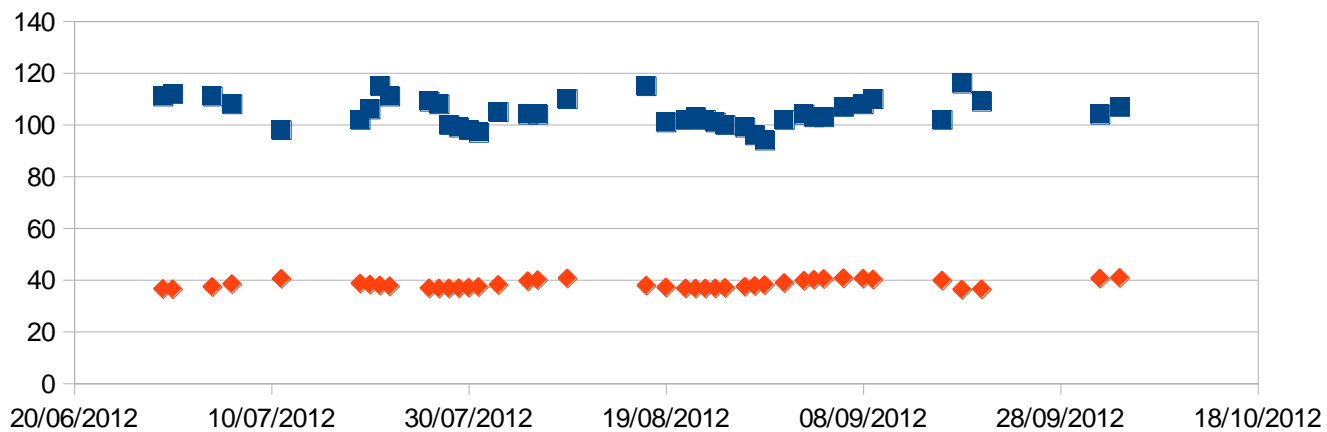
2.3. Resultats

Mesures realitzades entre els anys 2011 i 2012 (a partir de 1100 fotografies, 98 tractades amb Gimp):

	Diàmetre de la Lluna Mesures obtingudes (px)	Distància Terra- Lluna VIRTUAL MOON (x10.000)	Diàmetre (minuts d'arc)		Error
			Mesures realitzades	Valor Virtual Moon	
22/07/2011	103	40,7	30,9	29,4	4,96
23/07/2011	106	40,5	31,8	29,6	7,43
24/07/2011	101	40,2	30,3	29,9	1,34
28/07/2011	103	38,2	30,9	31,7	2,52
04/08/2011	110	36,5	33,0	32,8	0,61
06/08/2011	109	37,0	32,7	32,2	1,55
07/08/2011	112	37,3	33,6	31,8	5,66
09/08/2011	108	37,9	32,4	31,1	4,18
11/08/2011	107	38,7	32,1	30,5	5,25
14/08/2011	107	39,8	32,1	29,7	8,08
16/08/2011	104	40,4	31,2	29,3	6,48
19/08/2011	101	40,6	30,3	29,3	3,41
23/08/2011	104	39,3	31,2	30,6	1,96
01/09/2011	112	36,3	33,6	33,2	1,20
03/09/2011	111	37,0	33,3	32,4	2,78
05/09/2011	113	37,8	33,9	31,4	7,96
06/09/2011	105	38,2	31,5	31,0	1,61
08/09/2011	102	39,0	30,6	30,2	1,32
09/09/2011	101	39,4	30,3	29,9	1,34
10/09/2011	100	39,7	30,0	29,7	1,01
12/09/2011	91	40,2	27,3	29,3	6,83
13/09/2011	102	40,4	30,6	29,2	4,79
14/09/2011	98	40,5	29,4	29,2	0,68
15/09/2011	101	40,6	30,3	29,2	3,77
16/09/2011	102	40,6	30,6	29,3	4,44
21/09/2011	102	38,8	30,6	31,0	1,29
22/09/2011	109	38,2	32,7	31,5	3,81
23/09/2011	108	37,6	32,4	32,1	0,93
30/09/2011	108	36,4	32,4	33,1	2,11
02/10/2011	106	37,3	31,8	32,1	0,93
07/11/2011	101	40,6	30,3	29,4	3,06
09/11/2011	100	40,6	30,0	29,4	2,04
10/11/2011	102	40,6	30,6	29,4	4,08
11/11/2011	101	40,4	30,3	29,5	2,71
12/11/2011	105	40,3	31,5	29,6	6,42
18/11/2011	109	38,0	32,7	31,4	4,14
12/12/2011	102	39,3	30,6	30,4	0,66
20/12/2011	112	36,8	33,6	32,5	3,38
01/01/2012	101	40,0	30,3	29,9	1,34
02/01/2012	100	40,1	30,0	29,8	0,67
03/01/2012	103	40,1	30,9	29,8	3,69
04/01/2012	101	40,0	30,3	29,8	1,68
06/01/2012	102	39,6	30,6	30,1	1,66
07/01/2012	103	39,3	30,9	30,3	1,98
08/01/2012	109	39,0	32,7	30,6	6,86
09/01/2012	104	38,7	31,2	30,8	1,30
28/01/2012	100	39,7	30,0	30,1	0,33
31/01/2012	103	40,0	30,9	29,9	3,34
08/02/2012	108	37,6	32,4	31,8	1,89
26/02/2012	98	39,9	29,4	30,0	2,00
27/02/2012	102	40,0	30,6	29,9	2,34
29/02/2012	105	39,8	31,5	30,0	5,00
06/03/2012	112	37,4	33,6	31,9	5,33
09/03/2012	109	36,7	32,7	32,5	0,62
26/03/2012	111	40,0	33,3	29,9	11,37
27/06/2012	113	36,9	33,9	32,0	5,94
29/06/2012	111	36,5	33,3	32,5	2,46
30/06/2012	112	36,4	33,6	32,6	3,07
04/07/2012	111	37,3	33,3	32,0	4,06
06/07/2012	108	38,4	32,4	31,4	3,18
11/07/2012	98	40,5	29,4	29,7	1,01
19/07/2012	102	38,6	30,6	31,0	1,29
20/07/2012	106	38,2	31,8	31,3	1,60
21/07/2012	115	37,9	34,5	31,5	9,52

22/07/2012	111	37,6	33,3	31,8	4,72
26/07/2012	109	36,8	32,7	32,3	1,24
27/07/2012	108	36,7	32,4	32,6	0,61
28/07/2012	100	36,7	30,0	32,6	7,98
29/07/2012	99	36,8	29,7	32,5	8,62
30/07/2012	98	37,0	29,4	32,4	9,26
31/07/2012	97	37,3	29,1	32,2	9,63
02/08/2012	105	38,1	31,5	31,5	0,00
05/08/2012	104	39,5	31,2	30,3	2,97
06/08/2012	104	40,0	31,2	29,9	4,35
09/08/2012	110	40,6	33,0	29,4	12,24
17/08/2012	115	37,8	34,5	31,5	9,52
19/08/2012	101	37,1	30,3	32,1	5,61
21/08/2012	102	36,7	30,6	32,5	5,85
22/08/2012	103	36,7	30,9	32,6	5,21
23/08/2012	102	36,7	30,6	32,6	6,13
24/08/2012	101	36,8	30,3	32,5	6,77
25/08/2012	100	36,9	30,0	32,4	7,41
27/08/2012	99	37,4	29,7	32,0	7,19
28/08/2012	96	37,7	28,8	31,8	9,43
29/08/2012	94	38,1	28,2	31,5	10,48
31/08/2012	102	38,9	30,6	30,8	0,65
02/09/2012	104	39,7	31,2	30,1	3,65
03/09/2012	103	40,1	30,9	29,8	3,69
04/09/2012	103	40,4	30,9	29,6	4,39
06/09/2012	107	40,7	32,1	29,4	9,18
08/09/2012	108	40,5	32,4	29,5	9,83
09/09/2012	110	40,2	33,0	29,8	10,74
16/09/2012	102	39,8	30,6	32,7	6,42
18/09/2012	116	36,3	34,8	33,0	5,45
20/09/2012	109	36,4	32,7	32,8	0,30
02/10/2012	104	40,5	31,2	29,4	6,12
04/10/2012	107	40,8	32,1	29,3	9,56





Imatges d'algunes de les llunes més grans (retalls de 150x150 píxels mostrats al 100%):



Imatges d'algunes de les llunes més petites (retalls de 150x150 píxels mostrats al 100%):



2.4. Conclusions

Als gràfics anteriors es pot observar que el diàmetre de la Lluna ha variat durant les observacions entre 27,3 i 34,8 minuts d'arc, amb una mitjana de totes les dades de 31,4 segons d'arc. Aquest valor s'aproxima molt al valor de 1/2 grau que utilitzen els astrònoms amateurs com a valor de referència al cel nocturn.

Els valors reals per aquelles dates (segon el programari Virtual Moon) són de 29,2 a 33,2 minuts d'arc, amb una mitjana de 30,9 minuts d'arc.

Les nostres dades estan desviades un 4,3% d'aquest valor real.

Si no tenim en compte els valors amb un error superior al 5%, els resultats varien de 29,4 a 33,6 minuts d'arc, amb una mitjana de 31,4 minuts d'arc, amb un error de 2,3%

La nostra conclusió és que l'òrbita de la Lluna no pot ser circular segons aquestes dades i si el·líptica.

Si observem els gràfics de l'apartat anterior, podem observar que:

- quan la Lluna té el diàmetre major està situada a més distància de la Terra (perigeu),
- quan la Lluna té el diàmetre menor està situada a menys distància de la Terra (apogeu).

A partir de les dates on hem obtingut el valor màxim del diàmetre lunar, podem observar que el període entre dos perigeus consecutius és de 30,8 dies.

El mateix càlcul amb les dates on hem obtingut els valors més petits del diàmetre lunar ens aporten un període entre dos apogeus consecutius de 30,5 dies.

El valor del període o mes anomalístic (pas de la Lluna entre dos perigeus) és de 27,555 dies (www.astrosur.com/astrosur). Amb aquesta dada obtenim que l'error comès ha estat de 11,78%.

Si apliquem el mateix càlcul pel pas entre dos apogeus consecutius (encara que no hem trobat a la bibliografia que sigui equivalent al mes anomalístic), l'error comès ha estat de 10,69%.

3. BIBLIOGRAFIA I WEBGRAFIA

- ♣ AstronomíaSur (www.astrosur.com/astrosur)
- ♣ Galadí, D. i Gutierrez-Cabello, J.; 2001. Astronomía General: Teoría y práctica. Ediciones Omega.
- ♣ Galadí, D.; 2008. A ras de cielo. Editorial Almuzara.
- ♣ Lunar and Planetary Institut (<http://www.lpi.usra.edu/>)
- ♣ O'Meara, J.; 2010. Measure the Moon. Astronomy, març 2010. pàgines 58-59.
- ♣ Palau, R.; 2011. Exercicis amb el Sol. Treball de recerca. Inèdit.
- ♣ Ross, H.; 2011. What I really want to know?. Astronomy, setembre de 2011, pàgina 106.
- ♣ Wikipedia (www.wikipedia.org)