

ÍNDIX	Pàgina
AGRAÏMENTS	2
ÍNDIX DE FIGURES.....	3
ÍNDIX DE TAULES	5
ABSTRACT	6
1. INTRODUCCIÓ I JUSTIFICACIÓ DEL TREBALL	7
2. PLANTEJAMENT DEL PROBLEMA	8
3. METODOLOGIA	9
3.1 CONEIXEMENTS PREVIS.....	10
3.1.1 HISTÒRIA.....	10
3.1.2 LA LLUNA	13
3.1.3 PARÀMETRES FÍSICS	15
3.1.4 RELACIÓ LLUNA-TERRA.....	20
3.2 DISSENY EXPERIMENTAL	27
<i>Pràctica I: Confegir un mapa de la lluna a partir de fotografies fetes amb telescopi.</i>	27
<i>Pràctica II: Aconseguir visualitzar la lluna en 3D.</i>	35
<i>Pràctica III: Fer una estimació de l'alçada dels cràters a partir de la determinació del diàmetre de la lluna.</i>	38
<i>Pràctica IV: Fer una estimació del diàmetre dels cràters lunars.</i>	48
4. CONCLUSIONS FINALS I OPINIÓ PERSONAL.....	54
5. BIBLIOGRAFIA	56
6 ANNEXES	58
ANNEX I	59
ANNEX II	67
ANNEX III.....	68
ANNEX IV	71
ANNEX V	72
ANNEX VI	73
ANNEX VII	74

AGRAÏMENTS

A en Anicet Cossials, pel seu continu suport, compromís i positivisme encomiable. Ha estat tot un plaer poder treballar amb una persona com tu. La teva capacitat de lideratge i temprança són admirables.

A la meva germana Adriana, que sempre ha estat al meu costat, aconsellant-me i orientant-me, i alhora deixant-me fer el meu camí. Gràcies per fer fàcil lo difícil, possible lo impossible, i tot això, sense perdre el somriure.

Als meus pares, per la seva insistència i per estar sempre al meu costat.

A en Sergi Cervera, per la seva ajuda i col·laboració en els programes informàtics utilitzats en el següent treball.

A l'Alba Thomas, per la seva amistat i ensenyances. Gràcies per la seva ajuda i consells.

ÍNDIX DE FIGURES

- Figura 1: La Lluna, el cos celeste més incert.
- Figura 2: Primer mapa lunar de Galileu Galilei.
- Figura 3: Les fases de la lluna són només variacions de la il·luminació del satèl·lit. Si observem Mare Crisium com a punt de referència es comprendrà que aquestes fases són el resultat de la rotació de la Lluna sobre si mateixa al llarg de la seva òrbita al voltant la Terra i de la direcció dels raigs solars.
- Figura 4: Les dos principals libracions (en longitud, superior; en latitud, inferior) permeten observar les regions que s'apropen a la cara fosca de la Lluna.
- Figura 5: Grandària de la Lluna, depenent de la posició assolida.
- Figura 6: L'estructura interna.
- Figura 7: Comparació Terra – Lluna des de l'espai.
- Figura 8: Les fases de la Lluna. La secció superior del diagrama il·lustra la lluna a diferents punts de la seva òrbita, mentre que les fases corresponents que s'observen des de la Terra es mostren a la part inferior del dibuix.
- Figura 9: Eclipsis de Lluna. Quan la Lluna (disc negre) es troba en aquesta posició, es produeix un eclipsi lunar. Aquest diagrama no està traçat a escala per motius de claredat.
- Figura 10: Eclipsis de Sol. (a) Des del lloc d'observació b es presència un eclipsi total de Sol, mentre que les regions senyalades amb a es veu un eclipsi parcial, (b) Des de la posició x es divisa un eclipsi anul·lar. Els diagrames no estan traçats a escala per motius de claredat.
- Figura 11: Eclipsi lunar del 3 d'abril de 1996 fotografiat per Martin Mobberley amb el focus del seu reflector newtonià f/5 amb pel·lícula Fuji Reala. (a) exposició de 1/1000 segons a les 22:25 (b) exposició de 1/125 segons a les 23:00 (c) exposició de 3 segons a les 23:20.
- Figura 12: Diagrama dels eclipsis lunars.
- Figura 13: Seqüència de l'eclipsi lunar del 28 d'octubre del 2004. Figura 14: El Procés responsable de les marees.
- Figura 15: Les marees vives es formen quan les atraccions de la Lluna i el Sol s'alineen (encara que ho facin des de direccions oposades).
- Figura 16: Les marees mortes es donen quan les atraccions de la Lluna i el Sol formen un angle recte entre sí.
- Figura 17: Fases de la Lluna.
- Figura 18: Primera reconstrucció lunar a partir de les imatges captades amb el telescopi.
- Figura 19: Identificació de les parts característiques de la Lluna.
- Figura 20: Segona reconstrucció lunar a partir de les imatges captades amb el telescopi.
- Figura 21: Identificació de les parts característiques de la Lluna.
- Figura 22: Mapa de la Lluna, procedent del llibre "Descubrir la Luna".
- Figura 23: Fotografia de la lluna.
- Figura 24: Fotografia model utilitzada.
- Figura 25: Aspecte del programa Microsoft ICE.
- Figura 26: Caràtula del llibre "Descubrir la Luna".
- Figura 27: Procés de formació de les imatges en 3D.
- Figura 28: Programa 3D Photo Maker realitzant la superposició de capes.
- Figura 29: Imatge de la Lluna en 3D.
- Figura 30: Dos fotogrames amb una diferència de marge de 7 mm.
- Figura 31: Aspecte del programa 3D Photo Maker.
- Figura 32: Determinació experimental del diàmetre lunar.
- Figura 33: Distància del cràter al terminador.

- Figura 34: Mesura de l'ombra del cràter.
- Figura 35: Esquema de les proporcions geomètriques, segons Ros RM.
- Figura 36: Cràter Eudoxus, imatge obtinguda amb el programari Virtual Moon Atlas.
- Figura 37: Cràter Eudoxus, imatge obtinguda en la nostra observació.
- Figura 38: Cràter Franklin, imatge obtinguda amb el programari Virtual Moon Atlas.
- Figura 39: Cràter Franklin, imatge obtinguda en la nostra observació.
- Figura 40: Cràter Werner, imatge obtinguda amb el programari Virtual Moon Atlas.
- Figura 41: Cràter Werner, imatge obtinguda en la nostra observació.
- Figura 42: Representació de la imatge utilitzant el programari AUTOCAD 2008.
- Figura 43: Cràter Eudoxus, imatge obtinguda del programari Virtual Moon Atlas.
- Figura 44: Cràter Eudoxus, imatge obtinguda en la nostra observació.
- Figura 45: Cràter Posidonius, imatge obtinguda del programari Virtual Moon Atlas.
- Figura 46: Cràter Posidonius, imatge obtinguda en la nostra observació.
- Figura 47: Cràter Hèrcules, imatge obtinguda del programari Virtual Moon Atlas.
- Figura 48: Cràter Hèrcules, imatge obtinguda en la nostra observació.
- Figura 49: Cràter Macrobius, imatge obtinguda del programari Virtual Moon Atlas.
- Figura 50: Cràter Macrobius, imatge obtinguda en la nostra observació.
- Figura 51: Parts de les ulleres per la visió en 3D de la lluna.

ÍNDIX DE TAULES

- Taula 1. Composició química de la superfície lunar.
- Taula 2. Característiques orbitals de la Lluna.

ABSTRACT

The Moon is the only natural satellite of the Earth and the only body in the solar system we can see without the help of any instrument. For this reason with this research essay has been tried, to show the moon from a closer view. By capturing different images of each part of the Moon and by mean of careful study of each of them, a map composition that shows our satellite has been built.

Then the same map in 3D was set up. Also were identified the more relevant lunar craters and formations and the characteristics, height and diameter of some of them were studied. We can conclude that with the proper tools it is possible to deepen into the study of lunar morphology.

Key words: lunar map, lunar crater, lunar topography, morphometric data

1. INTRODUCCIÓ I JUSTIFICACIÓ DEL TREBALL

M'atreviria a afirmar que tothom d'arreu del món ha observat amb atenció aquella llum que de nit il·lumina pobles, mars, estrelles i foscors. Aquell punt de vegades blanc, d'altres grogós. En ocasions més llunyà, en d'altres més proper; la lluna.

Quin misteri aquest satèl·lit que ens planteja infinitat de preguntes: és nocturn? potser diürn? Té llum pròpia, o reflecteix la llum del sol? Perquè adopta tantes formes varies? És lluny? Hi ha vida? Es mou?

Sorprenent per a tothom: "La Lluna té cara!" Segurament quant la Lluna és quasi bé plena tots hi identifiquem un rostre en ella. És un efecte òptic? A que és deguda aquesta percepció?

Ara bé, certament hi ha un error en el meu relat. Parlem de "la Lluna" com si fos única i n'hi ha moltes de llunes. I no s'acaben aquí les preguntes; la lluna té influència sobre la terra? Varia la naturalesa al seu compàs? És un òrgan que passa desapercebut i en realitat té un poder indirecte sobre tots nosaltres? I les cultures? Quants pobles d'arreu es basen en els seus cicles? Té algun sentit subjectiu pels homes?

Totes aquestes preguntes i moltes més s'intentaran desenvolupar en el següent treball, que pren per objectiu tenir un coneixement més ampli sobre aquest satèl·lit que conviu amb nosaltres, i que la monotonia de veure'l sovint fa que passi desapercebut, però que alhora reserva un gran misteri, no només a la població en general, sinó també en l'astronomia en si, que l'estudia metòdicament des de fa anys però que encara té certs interrogants que concorren des del seu origen fins la seva funció passant per la pròpia composició i les interrelacions amb altres components de la galàxia, entre d'altres.

La justificació de la següent síntesis, no va més enllà del meu propi interès per conèixer la Lluna com el cos lluminós que observo de nit, del misteri que desperta i l'enlluernament dels homes cap al mateix.

Segons Gustavo Adolfo Bécquer; *"En el majestuoso conjunto de la creación, nada hay que me conmueva tan hondamente, que acaricie mi espíritu y dé vuelo desusado a mi fantasía como la luz apacible y desmayada de la luna."*

Estudiarem objectivament la Lluna, ja que el treball pretén ser científic i basat en informacions contrastades, però m'he permès adjuntar aquesta frase cèlebre ja que des de fa milers d'anys la Lluna ha despertat i desperta avui en dia una inspiració on l'home creatiu ha desenvolupat grans obres i teories. La Lluna té una influència metafísica en aquest aspecte i el seu significat arriba més enllà dels fets objectius.

2. PLANTEJAMENT DEL PROBLEMA

Pràctica I: Confegir un mapa de la Lluna a partir de fotografies fetes amb telescopi.

Pràctica II: Aconseguir visualitzar la lluna en 3D.

Pràctica III: Fer una estimació de l'alçada dels cràters a partir de la determinació del diàmetre de la Lluna.

Pràctica IV: Fer una estimació del radi dels cràters lunars.

3. METODOLOGIA

3.1 CONEIXEMENTS PREVIS

3.1.1 HISTÒRIA

L'ésser humà ha conegut, per descomptat, l'existència de la Lluna des de temps immemorials: és impossible perdre-la en el firmament, i no hi ha altre objecte més brillant i cridaner després del Sol. (Veure figura 1).

Totes les cultures primitives li donaven una gran importància (generalment religiosa, i en molts casos era considerada una deïtat), gairebé totes l'utilitzaven per dur a terme el compte del temps. El nom de Lluna fa referència a la deessa romana, *Selene*, per als grecs (el nom del qual sembla provenir de *selas*, llum). Van caldre milions d'anys perquè es busques més enllà de la mitologia per intentar explicar la seva existència i comportament.

Perquè brillava?

Perquè la seva llum era variable i presentava fases amb una regularitat extraordinària? La ment preclara del grec Anaxàgores va donar resposta a aquestes preguntes sense recórrer a la religió: tant el Sol, com la Lluna, segons ell, tenien un cos esfèric formats per material rocós.

El primer estava incandescent, però el segon no, aquest brillava perquè reflectia la llum solar, i les fases es devien a la posició relativa del Sol, la Terra i la Lluna.



Figura 1: La Lluna, el cos celeste més incert.

És una conclusió arribada en el segle V abans de la nostra era, sense un telescopi, mentre, al seu al voltant, es sostenia la idea que la Lluna era una deessa i que el propi Anaxàgores era un heretge per suggerir altra cosa: de fet, va estar a la presó i exiliat, en part per la seva postura racionalista en aquest i altres aspectes.

En qualsevol cas, el nostre coneixement sobre el satèl·lit no va avançar molt en els segles posteriors a Anaxàgores: d'una banda, era impossible veure al voltant d'un 40% de la seva superfície, i per una altra no és fàcil distingir gran cosa sense l'ajut d'algun instrument òptic.

L'astrònom grec Aristarco de Samos va ser capaç de realitzar estimacions sorprenentment precises sobre la seva grandària i la distància a la Terra comparada amb el Sol, però era difícil anar més enllà. Va caldre esperar fins al desenvolupament del telescopi, que Galileu es posés a mirar el firmament amb ell, i que destruís el paradigma geocèntric de l'Univers.

A part d'altres observacions, d'italià va dirigir la seva mirada, com no podia ser d'altra manera, cap al nostre satèl·lit, i va ser capaç d'investigar la causa de les diferents tonalitats griseses de la Lluna. No es tractava com s'havia dit, d'una esfera llisa i perfecta. Tot i que, des del temps d'Aristòtil, es suposava que la imperfecció i el canvi es limitaven a la Terra, i que els objectes del firmament eren perfectes i immutables (encara que Aristòtil, va admetre que la Lluna podia estar lleugerament contaminada per la corrupció terrestre), els ulls de Galileu van observar per primera vegada muntanyes, cràters, planes, la Lluna era molt semblant a la Terra.

L'italià va realitzar llavors el primer dibuix més o menys detallat de la superfície de la Lluna, que va publicar en 1609 en el seu llibre *Sidereus Nuncius* (El missatger de les estrelles). Es tractava, al cap i a la fi, d'una espècie de "mini-planeta". El telescopi de Galileu no permetia observar si hi havia vegetació, aigua o vida. (Veure figura 2).

El que estava clar és que la superfície lunar tenia regions molt extenses, aparentment llises, d'un color més fosc, que els astrònoms denominaven *maria* (mars), tenia altres regions més abruptes i muntanyenques de color més clar que es van nombrar *terrae* (continents). Encara que avui sabem, per descomptat, que no són una cosa ni l'altra, es segueixen utilitzant els noms, per raons històriques.

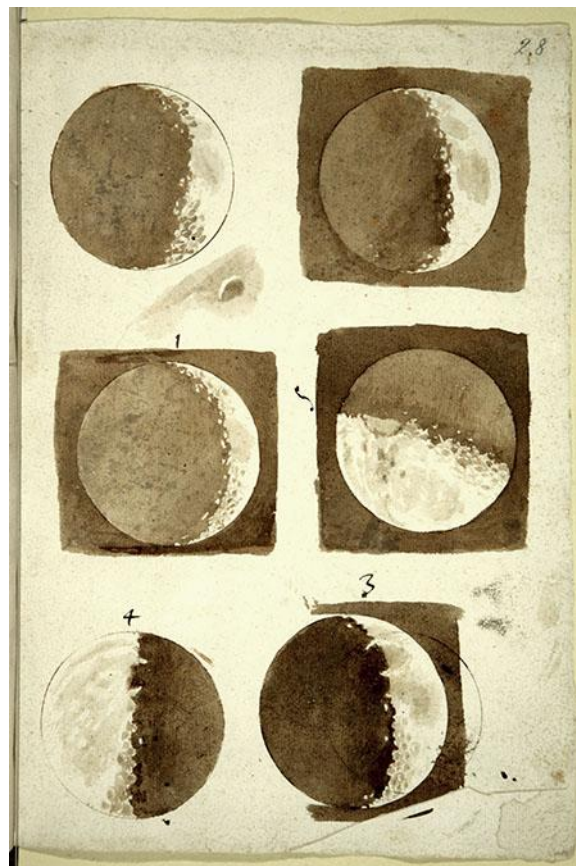


Figura 2: Primer mapa lunar de Galileu Galilei

A poc a poc, els astrònoms van anar catalogant i descrivint els accidents geogràfics de la Lluna: Johannes Hevelius va publicar la seva *Selenographia* en 1647, el primer llibre dedicat exclusivament a descriure el nostre satèl·lit, amb el primer mapa pròpiament dit de la Lluna. Va ser al 1753 quan la major part de la comunitat científica va descartar la possibilitat que hi hagués vegetació i vida animal.

El croata Roger Joseph Boscovich, observant curiosament la vora de la Lluna i el pas d'estrelles a través d'ella, va determinar que hi havia una manca d'atmosfera.

Alguns, per descomptat, no es resignaven a descartar la vida a la Lluna. L'alemany Franz von Gruithuisen, el primer a suggerir que els cràters lunars eren el resultat de l'impacte de meteorits, sostenia en 1824 que la Lluna albergava ciutats en la seva superfície. Però, des de mitjans del segle XVII la major part dels astrònoms ja sabien que la Lluna era un lloc rocós i sense formes de vida superiors. Les idees del senyor Gruithuisen van ser escoltades amb escepticisme i dutes a la burla. La seva explicació sobre els cràters, per contra, li va proporcionar l'honor de tenir un cràter a la Lluna amb el seu nom, el cràter Gruithuisen.

De manera que al començament del segle XX coneixien pràcticament tot el que es pot saber sobre la Lluna sense arribar-hi: la distància de la Terra a la Lluna, la seva òrbita, els moviments que realitza al voltant del seu eix, la seva grandària i forma, i la seva topografia.

3.1.2 LA LLUNA

Formada fa uns 4.600 milions d'anys, al mateix temps que la Terra i els altres astres del sistema solar, la Lluna ha pres cos per la condensació de gasos, per acreció de partícules sòlides, o per conjugació dels dos fenòmens.

Poc després, que la temperatura de les capes externes s'elevés a 1.000°C, la Lluna es va liquidar fins una profunditat d'almenys 200 km, i els diversos materials que la constituïen es van repartir des del centre fins a la superfície per ordre de densitat creixent. Aquesta diferència química va donar lloc, en particular, fa uns 4.500 a 4.300 milions d'anys, a una escorça superficial a base de *anortositas*, que es un tipus de roca localitzada a la superfície del nostre satèl·lit. Aquesta última, tot just solidificada, es va veure bombardejada intensament per enormes meteorits, abundants en aquell temps en l'espai interplanetari, que van perforar-hi en ella immenses conques provocant una fusió de les roques.

Aquesta era de cataclisme va finalitzar fa 3.900 milions d'anys, i l'últim impacte d'importància sembla haver estat el que va engendrar, en aquesta època, el mar de les pluges.

La Lluna va conèixer posteriorment, durant 800 milions d'anys, una gran activitat interna. La calor despresa pels àtoms radioactius presents a les roques situades sota l'escorça va provocar una segona fusió en profunditat i la formació de laves basàltiques, que van ascendir a la superfície i es van escampar omplint les conques per construir el fons dels mars, tal com s'observa en l'actualitat.

Pel que fa a l'absència gairebé total de mars a la cara oculta de la Lluna, s'explicaria pel fet que, en aquest hemisferi, l'escorça és netament més gruixuda, de manera que el magma procedent de les profunditats només ha pogut assolir la superfície en comptats llocs.

Des de fa 3.000 milions d'anys, la cara de la Lluna no ha conegut importants transformacions. L'activitat interna s'ha calmat, els impactes de meteorits a la superfície s'han tornat més escassos, i l'astre s'ha anat refredant lentament, tornant-se rígid fins una profunditat de 1.000 km.

LES PRINCIPALS FORMACIONS DEL RELLEU LUNAR

Observada a simple vista, la superfície de la Lluna surt esquitxada de taques fosques. Aquestes corresponen a extenses planes, lleugerament deprimides, més o menys ondulades i vorejades de muntanyes. Anomenades *mars* pel primers observadors, que havien cregut veure en ells extensions d'aigua líquida, conserven en l'actualitat aquesta denominació impròpia. Algunes tenen una forma circular o ovalada ben delimitada (mar de la Crisis, mar de la Serenitat, etc.); altres, al contrari, presenten un contorn irregular (oceà de la Tempestat, mar de les pluges, etc.) i es ramifiquen en golfs, caps, llacs o pantans.

S'ha comptabilitzat almenys 22 mars en la totalitat de la superfície lunar, la majoria a la cara visible de la Lluna, ja que la cara oculta del astre compta amb molt pocs. El principal és el mar de Moscú, revelat per primera vegada al 1959 per les fotografies de la sonda soviètica *Luna 3*. La majoria dels mars són visibles des de la Terra, encara que alguns només ho són parcialment (mar Austral, mar Marginal, mar Oriental, mar Smyth).

Es denominen *continents* les regions clares de la superfície lunar. Són zones altament accidentades, saturades de cràters. Les formacions muntanyoses, agrupades a vegades com autèntiques serralades, són nombroses en aquestes zones, especialment a les ribes dels mars. Alguns cims poden arribar a elevades altituds a prop del pol Sud. Però les muntanyes lunars s'assemblen als massissos terrestres vells, ja que estan desproveïts de pics i presenten sempre cims arrodonits i formes suaus.

Les formacions més característiques del relleu lunar són les depressions circulars o poligonals, que tenen dimensions variables: els *cràters* o *circs* (aquest últim terme es refereix als cràters més extensos que es troben rodejats per muntanyes).

Els cràters de major grossor sobrepassen els 200 km de diàmetre, i els més petits, visibles des de la Terra, no excedeixen d'un Km.

EL TERRA LUNAR

El terra de la Lluna està recobert per una multitud de pedres, des de roques grans fins a pedretes casi minúscules, més o menys enfonsades en una capa de pols de pocs mil·límetres fins a uns quinze centímetres d'espessor, depenent del lloc on es trobin. A més a més el terra presenta una multitud de micro cràters formats per l'impacte de micro meteorits. El seu color varia segons l'angle d'il·luminació que pot anar des del gris cendra, quan està il·luminat a contra llum, al color xocolata, quan rep perpendicularment el raigs solars.

La pols, de textura variable segons les regions, està constituïda essencialment per fragments rocosos, però també conté alguns residus meteorítics. Sota aquesta capa de pols se n'estén una altra de roques fragmentades, la regolita o regòlit, que és el resultat directe de la meteorització d'un substrat, i té un gruix que varia entre els 2 i 20 m depenen de la regió.

Com passa a la Terra, l'oxigen és l'element més abundant de la superfície lunar. L'ordre decreixent en abundància dels elements és, en general, el mateix que en ambdós astres, però amb diferències significatives. Comparada amb l'escorça terrestre, la de la Lluna és més pobra en elements volàtils com per exemple el carboni i l'oxigen, i en elements sideròfils com per exemple el cobalt, la plata, el potassi, el sodi, el silici, el rubidi, l'escandi, i l'europi. En canvi és més rica en elements refractaris, com ho serien per exemple el calci, el titani, el magnesi, el ferro i les terres rares. (Veure taula 1).

Taula 1. COMPOSICIÓ QUÍMICA DE LA SUPERFÍCIE LUNAR			
Composts	Fórmula	Composició (% pes)	
		Mars	Terres Altes
Diòxid de Silici	SiO ₂	45.4%	45.5%
Òxid d'Alumini	Al ₂ O ₃	14.9%	24.0%
Òxid de Calci	CaO	11.8%	15.9%
Òxid de Ferro (II)	FeO	14.1%	5.9%
Òxid de Magnesi	MgO	9.2%	7.5%
Diòxid de Titani	TiO ₂	3.9%	0.6%
Òxid de Sodi	Na ₂ O	0.6%	0.6%
Total		99.9%	100.0%

3.1.3 PARÀMETRES FÍSICS

De forma sensiblement esfèrica, té un diàmetre de 3.473 km i una massa igual a 1/81 de la massa de la Terra; està a una distància mitjana de la Terra de 384.000 km i l'acceleració de la gravetat a la seva superfície representa el 16% de la que hom experimenta a la superfície de la Terra.

La Lluna es mou aparentment a l'esfera celest descrivint un cercle màxim que determina un angle mitjà de 5° 9' amb l'eclíptica. El moviment real de translació de la Lluna entorn la Terra és molt complicat, ja que està sotmesa a dos efectes pertorbadors molt importants. El principal és l'acció gravitatòria no constant del Sol sobre el sistema Terra-Lluna. El segon consisteix en les irregularitats que presenta la força d'atracció gravitatòria entre la Terra i la Lluna; aquest efecte és degut a l'aplatament terrestre, per la distribució de la massa a l'interior de la Terra i pel fet que la Lluna és molt pròxima a la Terra.

La Lluna a més a més, gira en sentit directe sobre ella mateixa, amb un període de revolució sidèria que és de 27.322 dies. La conseqüència d'aquest fenomen s'anomena *rotació capturada o captiva*.

MOVIMENTS DE LA LLUNA

S'han dedicat llibres sencers al moviment de la Lluna al voltant de la Terra, el qual dóna una idea de la dificultat que suposa calcular la seva posició en la seva òrbita. Sotmesa a l'atracció combinada de la Terra, el Sol, i en menor proporció els planetes, la Lluna accelera i frena de forma desordenada. Per descriure correctament aquestes variacions es necessiten fórmules que comptin amb diversos centenars de paràmetres.

- L'òrbita lunar

Unides per la seva atracció, la Lluna i la Terra formen un sistema que es troba en òrbita al voltant del Sol. El centre de massa (o baricentre) d'aquest sistema descriu una òrbita eclíptica al voltant del Sol, encara que, per costum, es sol nombrar «òrbita terrestre». Es pot dir que la Lluna es desplaça amb un moviment «ondulant» al llarg d'aquesta òrbita.

- El moviment lunar

La posició de la Lluna al voltant la Terra resulta difícil de determinar. A més a més, s'ha de tenir en compte el punt de referència respecte el qual es vol ubicar la Lluna, ja sigui respecte al Sol, o respecte a les estrelles.

Si és respecte al Sol, es parla de «període sinòdic», que indica el temps necessari perquè la Lluna torni a presentar la mateixa posició. És el període que separa, per exemple, dos llunes plenes.

Si és respecte les estrelles, es parla de «període sideral», que indica el temps necessari perquè la Lluna torni a trobar-se al mateix meridià celest, després d'haver girat al voltant de la Terra.

- La Lluna canvia de cara

Qualsevol pot observar que la Lluna sembla canviar de forma en el curs del seu recorregut al voltant de la Terra. De fet no es tracta d'un canvi de forma, sinó d'una variació d'il·luminació del globus lunar per part del Sol. Es tracta del fenomen de les fases lunars, una simple qüestió de perspectiva. Quan es completa una sèrie de fases, es parla d'un cercle lunar o llunació. La seva durada és la mateixa que el «període sinòdic», és a dir, 29'53 dies. (Veure figura 3).

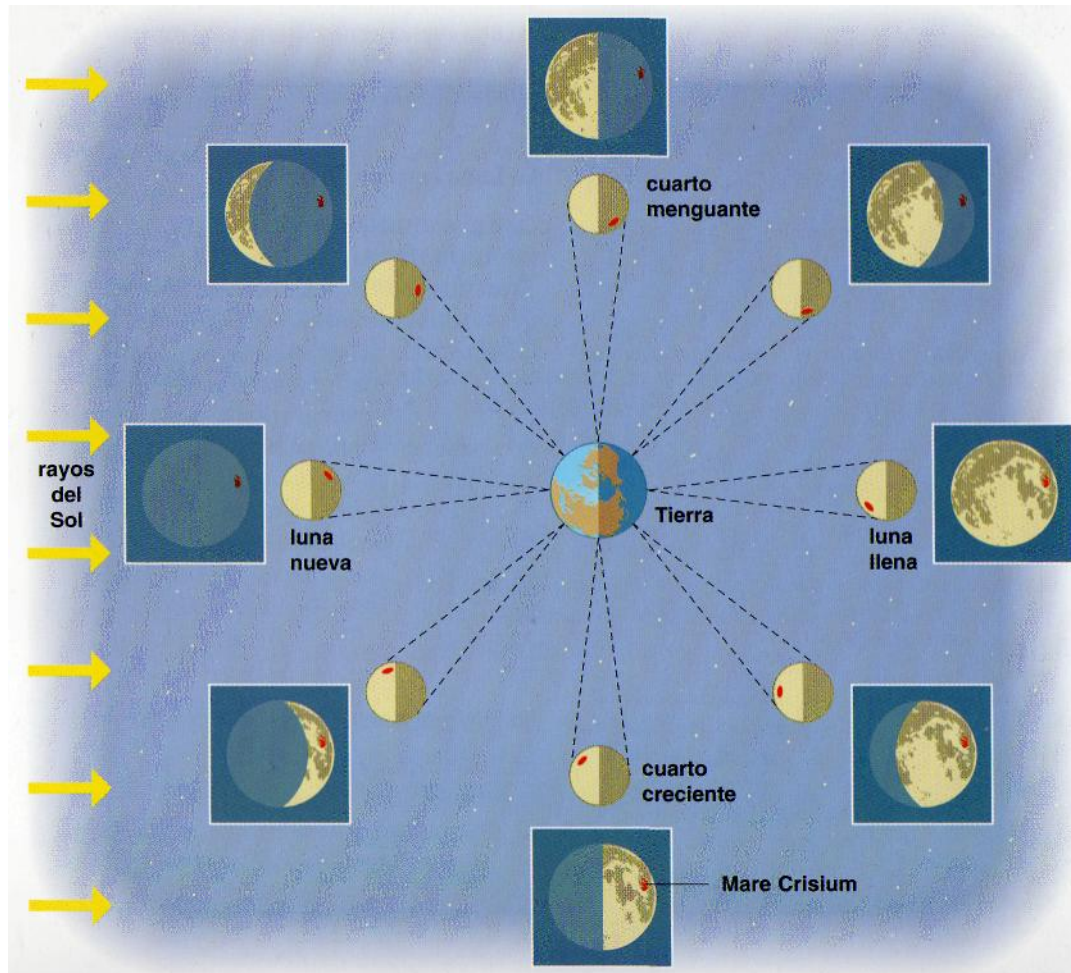


Figura 3: Les fases de la lluna són només variacions de la il·luminació del satèl·lit. Si observem Mare Crisium com a punt de referència es comprendrà que aquestes fases són el resultat de la rotació de la Lluna sobre si mateixa al llarg de la seva òrbita al voltant la Terra i de la direcció dels raigs solars.

- La Lluna es balanceja: *les libracions*

Les libracions permeten a l'observador descobrir una part de la cara oculta de la lluna. D'aquesta manera, es pot contemplar el 59% de la superfície de la lluna, en lloc del 50% teòric. Les dos principals libracions són:

- ❖ Una oscil·lació latitudinal (de $6^{\circ} 50'$), provocada per la inclinació de l'eix de rotació de la Lluna. Permet veure una part de les regions situades més enllà dels pols lunars.
- ❖ La libració longitudinal (de $7^{\circ} 54'$), fruit de la combinació de la velocitat de revolució, variable al llarg de l'òrbita, i de la velocitat de rotació, uniforme.

De fet, la Lluna va a una major velocitat quan passa prop de la Terra, al seu perigeu, i a menor velocitat quan està lluny d'ella, al seu apogeu. Però, al mateix temps, també dóna voltes sobre si mateixa a una velocitat constant. D'aquesta forma, a la meitat de l'òrbita, la Lluna va alentint el seu desplaçament orbital, la rotació de la Lluna sobre si mateixa s'avançarà a la revolució d'aquesta al voltant la Terra. Aquest fet permet a l'observador terrestre captar una part de la cara oculta, al est del globus lunar.

El mateix procés es repeteix, però al contrari, després del pas per l'apogeu: la Lluna s'accelera, fet que permet que l'observador terrestre observi una part de la cara oculta, a l'oest del globus.

Aquestes libracions es desenvolupen de manera simultània, però amb una periodicitat diferent. La seva combinació explica que es pugui observar un 59% de la superfície lunar. (Veure figura 4).

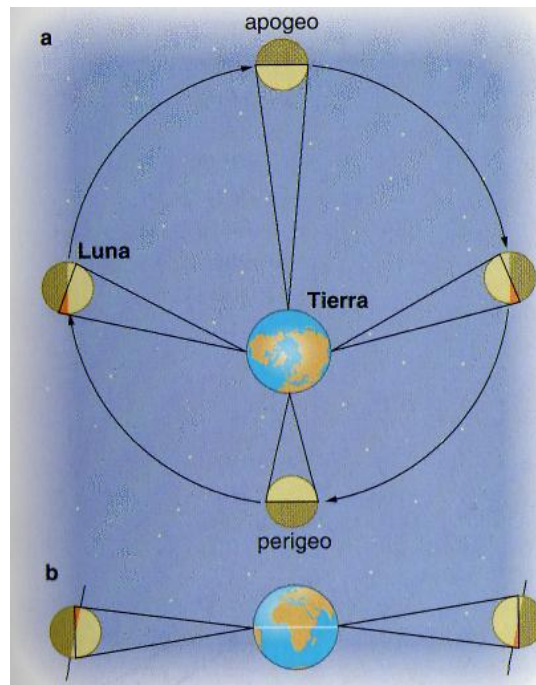


Figura 4: Les dos principals libracions (en longitud, superior; en latitud, inferior) permeten observar les regions que s'apropen a la cara fosca de la Lluna.

REVOLUCIONS DE LA LLUNA

La Lluna triga en fer una volta al voltant de la Terra 27d 7h 43min si es considera el gir respecte al fons estel·lar (revolució sideral), però 29d 12h 44min si es considera respecte el Sol (revolució sinòdica) i això és perquè en aquest lapse la Terra ha girat al voltant del Sol. (Veure taula 2). Aquesta última revolució regeix les fases de la Lluna, eclipses i mareas lunisolars. Com que la Lluna triga el mateix temps en fer una volta sobre si mateixa que entorn de la Terra, presenta sempre la mateixa cara. Això es deu al fet que la Terra, per un efecte anomenat gradient gravitatori, ha frenat completament la Lluna. La majoria dels satèl·lits regulars presenten aquest fenomen respecte als seus planetes.

Taula 2. CARACTERÍSTIQUES ORBITALS DE LA LLUNA	
Període sinòdic	29,53 dies. És a dir, 29 dies 12h 44min 2,9s
Període sideral	27,32 dies. És a dir, 27 dies 7h 43min 11,5s
Sentit de revolució	Normal. (sentit contrari a les agulles del rellotge)
Velocitat orbital mitjana	3 683 Km/h . És a dir, aprox. 1 Km/s
Desplaçament aparent, respecte les estrelles	33'/h. És a dir, 13,176° dia i mig

Així doncs, fins a l'època de la investigació espacial (Lunik 3) no va ser possible veure la cara lunar oculta, que presenta una dissimetria respecte a la cara visible. El Sol il·lumina sempre la meitat de la Lluna (exceptuant en els eclipsis de Lluna), que no té per què coincidir amb la cara visible, produint les fases de la Lluna.

La immobilització aparent de la Lluna respecte a la Terra s'ha produït perquè la gravetat terrestre actua sobre les irregularitats del globus lunar de manera que en el transcurs del temps la part visible té 4 km més de radi que la part no visible, estant el centre de gravetat lunar desplaçat del centre lunar 1,8 km cap a la Terra. (Veure figura 5).

- ❖ Revolució sinòdica: és l'interval de temps necessari perquè la Lluna torni a tenir una posició anàloga pel que fa al Sol i a la Terra. La seva durada és de 29d 12h 44min 2,78s. També es denomina llunació o més lunar.
- ❖ Revolució sideral: és l'interval de temps que tarda la Lluna en tornar a tenir la posició anàloga pel que fa a les estrelles. La seva durada és de 27d 7h 43min 11,5s.
- ❖ Revolució tròpica: és el lapse necessari perquè la Lluna torni a tenir la mateixa longitud celest. La seva durada és de 27d 7h 43min 4,7s.
- ❖ Revolució draconítica: és el temps que triga la Lluna a passar dues vegades consecutives pel node ascendent. La seva durada és de 27d, 5h 5min 36s.
- ❖ Revolució anomalística: és l'interval de temps que transcorre entre 2 passos consecutius de la Lluna pel perigeu. La seva durada és de 27d 13h 18min 33s.

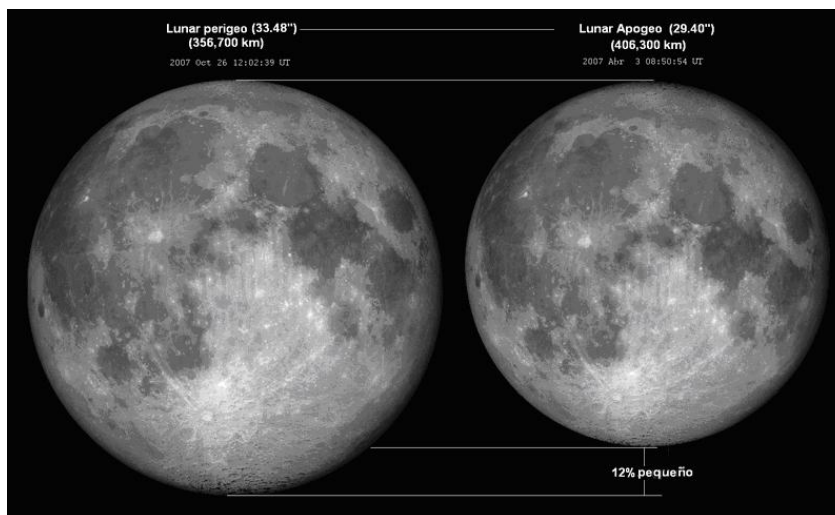


Figura 5: Grandària de la Lluna, depenent de la posició assolida.

ESTRUCTURA INTERNA

Amb el conjunt de dades recollides pels sismòmetres *Apollo*, s'ha pogut establir el següent model d'estructura interna de la Lluna: (Veure figura 6) 1a. Una escorça formada per varies capes, el gruix varia des d'uns 60 km, en l'hemisferi visible de la Terra, fins als 100 km, en l'hemisferi ocult; 2a. Un mantell, d'uns 1.000 km d'espessor; 3a. Un nucli, d'uns 700 km de radi, que conté una quantitat relativament important de ferro. Aquest nucli estaria en un estat més o menys pastós, en estimar la temperatura del centre de l'astre molt propera als 1.500°C.



Figura 6: L'estructura interna.

COMPOSICIÓ QUÍMICA

La composició química de les roques de la superfície lunar, determinada gràcies a les mostres recollides pels vehicles *Luna* i *Apollo* és formada, en ordre d'abundància decreixent, pels compostos SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO i MgO , juntament amb traces d'altres compostos de Na, K, Mn, Co, i Zr. Totes les observacions fetes des de la Terra coincideixen a indicar que la Lluna no tenia cap atmosfera o que, si de cas, la seva densitat era petitíssima. Si que és cert que a la superfície lunar s'ha detectat una atmosfera molt tènue de ^4He i ^{40}Ar . Aquesta manca d'atmosfera és la causa de les grans variacions de temperatura de la superfície lunar, les quals oscil·len entre els valors extrems de 130°C i -150°C.

TEMPERATURA

La quasi total absència d'atmosfera produeix una amplitud tèrmica considerable que pot arribar als 100°C en un punt donat entre el dia i la nit, davant d'unes poques desenes de graus a la Terra. Les determinacions més recents han proporcionat respectivament 117°C com a màxim de dia i -171°C com a mínim de nit.

Les mediacions de flux tèrmic dutes a terme durant les missions *Apollo* han indicat un increment de temperatura de 1.75°C per metre de profunditat, molt superior a les previsions.

CAMP MAGNÈTIC

La peculiaritat més notable del camp magnètic de la Lluna és la de ser summament variable d'un lloc a un altre tant en intensitat com en direcció.

Mentre que la Terra es pot identificar com una barra imantada, orientada aproximadament de Nord a Sud, la Lluna més aviat s'identifica amb una sèrie de petits imans enterrats a l'atzar sota la seva superfície.

És molt possible que aquest camp fos generat en aquella època per efecte dinamo, al trobar-se en aquell temps l'interior de la Lluna en un estat molt més fluid que l'actual, i que desapareix posteriorment quant es produeix el refredament de l'astre. El magnetisme actual seria, un magnetisme fòssil, corresponent al camp detectat a una romanència del camp original.

ACTIVITAT SÍSMICA

L'origen de les formacions del relleu lunar ha estat motiu de controvèrsia durant molts anys. Gràcies als viatges dels *Apollo* s'ha comprovat que fins fa 3.500 milions d'anys la lluna fou seu d'un vulcanisme molt actiu, i que encara té al seu interior una capa de materials fosos o, si més no, parcialment fosos. Així, tot i que encara es tendeix a creure que la majoria de cràters de la Lluna han estat originats per impactes de meteorits, s'accepta que alguns d'ells, especialment els que estan agrupats formant cadenes al llarg d'esclatxes de la superfície lunar, tenen un origen volcànic. Respecte als mars, sembla evident que han estat formades en reomplir-se unes grans depressions, prèviament creades per meteorits, amb laves basàltiques procedents de l'interior.

3.1.4 RELACIÓ LLUNA-TERRA

La Terra i la Lluna suposen un conjunt excepcional al sistema solar. El diàmetre de la Terra mesura menys de quatre vegades el de la Lluna. Només Plutó, amb el seu satèl·lit Caront, presenta una proporció més elevada, amb els seus 2.320 i 1.270 km de diàmetre, respectivament.

En resum, després de Caront, la nostra Lluna és la més gran del sistema solar en relació el seu planeta. Si es poguessin contemplar aquests dos astres des de lluny, apareixerien com un planeta doble enmig de l'espai.

Vista des de Venus, la Terra és un astre binari, on la seva distància aparent entre els dos components (Terra-Lluna) pot arribar a 1° . Es possible seguir a simple vista gran part de l'òrbita de la Lluna al voltant la Terra. (Veure figura 7)

És a dir, el sistema Terra-Lluna té unes característiques particulars pel fet que, contràriament al cas dels satèl·lits dels altres planetes, la Lluna té unes dimensions del mateix ordre de magnitud que les de la Terra, i les influències recíproques Terra-Lluna



Figura 7: Comparació Terra - Lluna des de l'espai.

FASES I ECLIPSES

En l'actualitat, la majoria de la gent sap que el sol actua com l'eix central del Sistema Solar, i que els planetes l'orbiten a distàncies diverses. S'ha de dir que els estudis de Copèrnic i Galileu al segle XVI i principis del XVII, van resultar essencials. Per suposat, un dels objectes, la Lluna, no va abandonar la seva posició en òrbita al voltant de la Terra que els antics havien atribuït erròniament a tots els cossos del Sistema Solar.

El període sideral de la Lluna, el temps que tarda en completar una revolució al voltant la Terra, ascendeix a 27.3 dies. Al començament del segle XVII, Johannes Kepler havia determinat que les òrbites planetàries al voltant del Sol tenien forma el·líptica, i no circular tal com havia pensat Copèrnic. L'òrbita de la Lluna també és el·líptica. En el punt més proper a la Terra, el perigeu, la Lluna es situa a 356 410 km de distància, la qual augmenta fins als 406 679 km en l'apogeu.

La figura 8 mostra l'explicació bàsica habitual de com es produeixen les fases de la Lluna al llarg d'un cicle complet, o llunació. El que no revela el diagrama és perquè la durada del cicle no ascendeix a 27.3 dies, com el període sideral. La raó es troba en què la Lluna recorre el seu circuit al voltant de la Terra, mentre aquesta es desplaça sobre la seva òrbita al voltant del Sol. Per aquest motiu la llum del Sol que incideix canvia una miqueta amb el temps, en lloc de romandre fixa, com insinua el diagrama.

Com a conseqüència, la Lluna ha de recórrer una mica més d'un únic circuit al voltant de la Terra per arribar d'una Lluna nova a la següent. Per tant, la longitud d'una llunació, o període sideral equival a 29.5 dies.

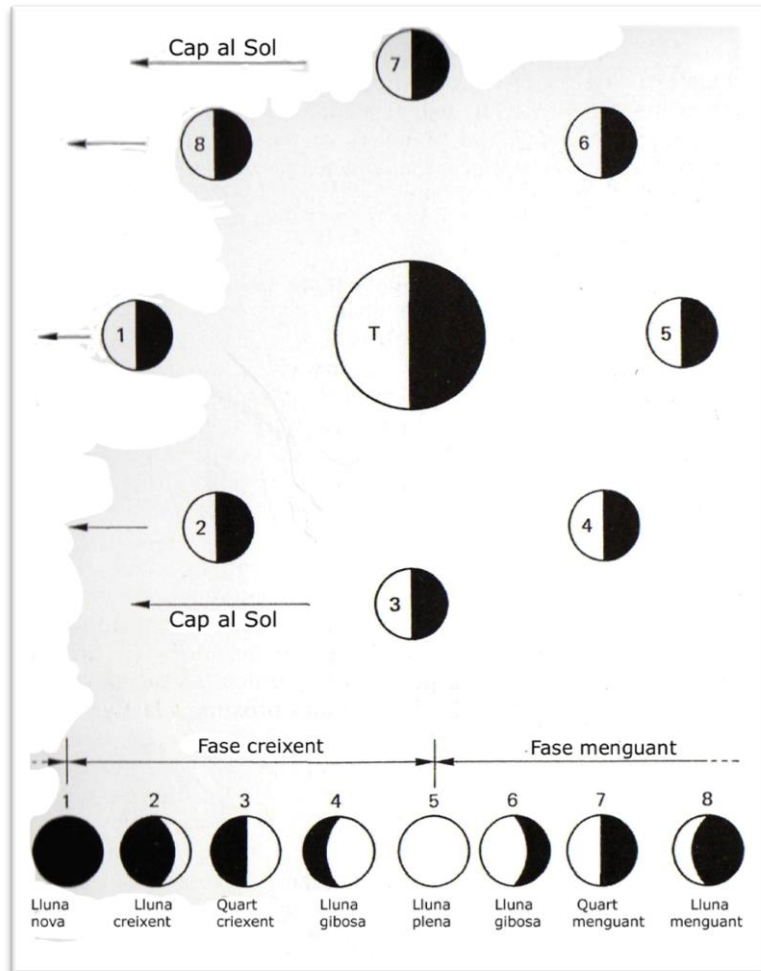


Figura 8: Les fases de la Lluna. La secció superior del diagrama il·lustra la Lluna a diferents punts de la seva òrbita, mentre que les fases corresponents que s'observen des de la Terra es mostren a la part inferior del dibuix.

Una altra imprecisió de la figura 8 és que no reproduïx la veritable relació de grossor i distàncies que existeix entre la Terra, la Lluna i el Sol. En saber que la Terra projecta un con immens d'ombra cap a l'espai, caldria pensar que sempre que hi ha Lluna plena, el satèl·lit ha de travessar aquest con d'ombra (Veure figura 9).

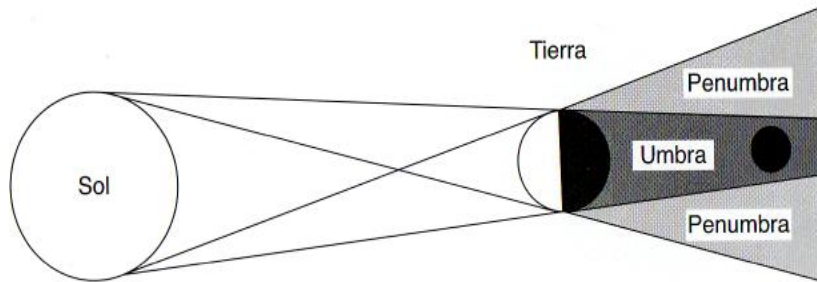


Figura 9: Eclipsi de Lluna. Quan la Lluna (disc negre) es troba en aquesta posició, es produeix un eclipsi lunar. Aquest diagrama no està traçat a escala per motius de claredat.

Per descomptat aquests eclipsis de Lluna es produeixen però, no amb cada Lluna plena. De la mateixa manera, tampoc es produeixen eclipsis de Sol amb cada pleniluni (Veure figura 10), tot i que el diagrama pugui suggerir que la Lluna es situa just entre el Sol i la Terra en cada noviluni. El que no il·lustra el dibuix és que el plànol de l'òrbita que segueix la Lluna al voltant de la Terra presenta una lleugera inclinació (d'uns 5°) pel que fa al plànol de l'òrbita que recorre la Terra en entorn del Sol

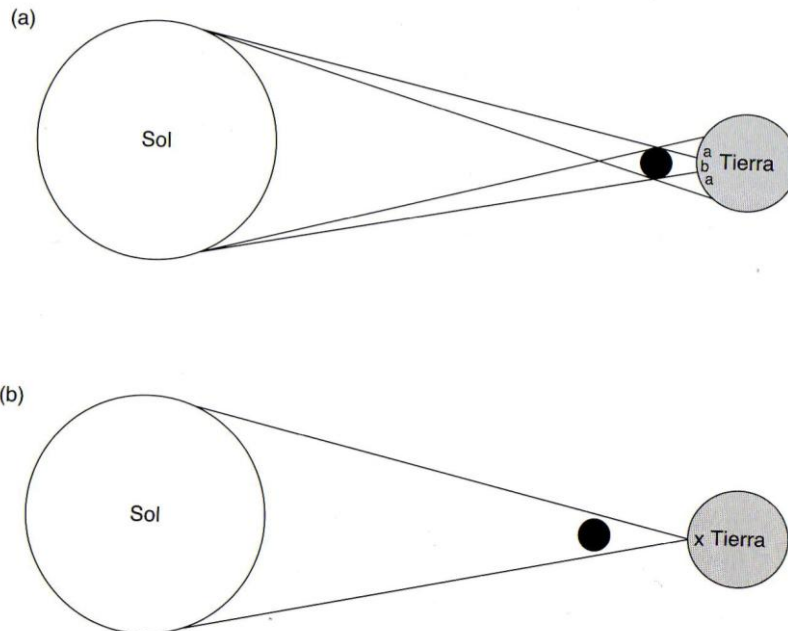
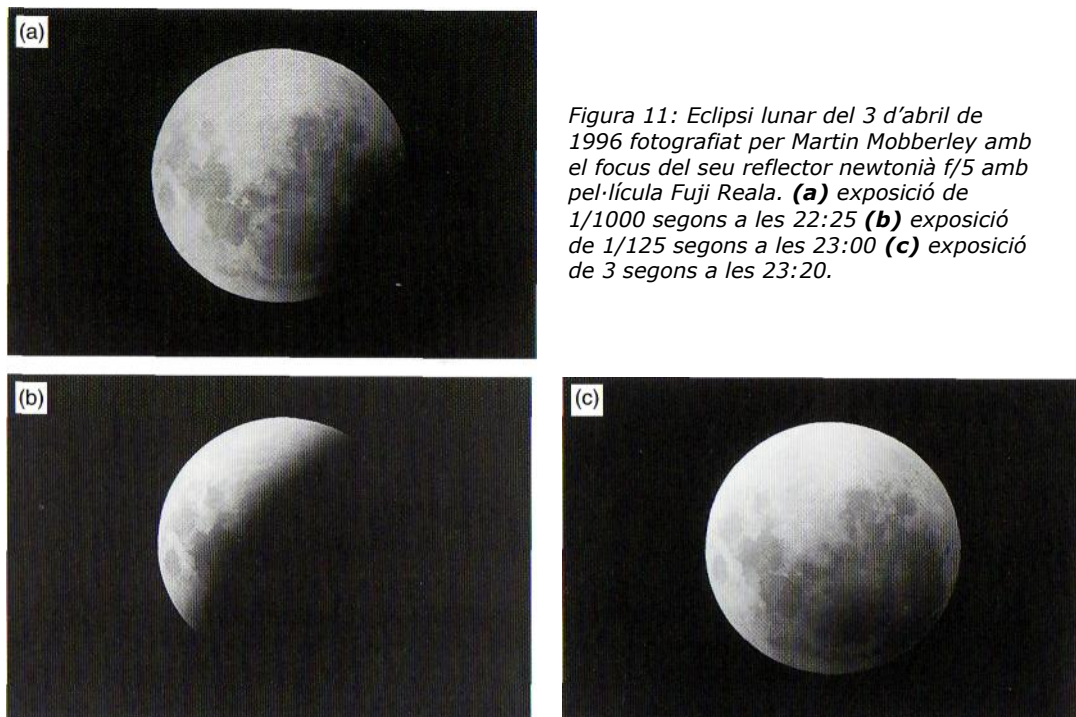


Figura 10: Eclipsi de Sol. (a) Des del lloc d'observació **b** es presència un eclipsi total de Sol, mentre que les regions senyalades amb **a** es veu un eclipsi parcial, (b) Des de la posició **x** es divisa un eclipsi anular. Els diagrames no estan traçats a escala per motius de claredat.

La situació que il·lustra la figura 9, molt apartada de l'escala real per claredat, correspon a la d'un eclipsi total de Lluna, on aquesta es sumeix en l'ombra absoluta. Primer, la Lluna s'interneja en l'ombra parcial, o penombra. Mentre roman en ella, la Lluna plena experimenta un esvaïment molt lleuger. A mesura que el satèl·lit s'endinsa en l'ombra absoluta comença a aparèixer una «mossegada» i la llum directa del Sol desapareix de manera progressiva.



Durant un eclipsi total de Lluna típic, l'ombra de la Terra triga al voltant d'una hora a escombrar per complet la superfície lunar (Veure la figura 11) i mentre dura aquesta situació, bloqueja tota la llum solar directa. L'única llum que rep llavors la superfície lunar és la que li arriba refractada i escampada des de l'atmosfera terrestre. Comunament la Lluna presenta un aspecte diferent en aquestes ocasions, coberta d'un color rogenc.

Durant un eclipsi de màxima durada la totalitat dura al voltant d'una hora i, després, l'ombra va abandonant la Lluna en el transcurs d'una altra hora més o menys.

El grau d'enfosquiment i la coloració exacta que s'aprecia varien d'un eclipsi a un altre (i poden diferir fins i tot mentre es produeix un mateix eclipsi). A més a més, la grandària de l'ombra que projecta la Terra pot variar una miqueta d'un eclipsi a un altre el que altera les mesures precises de temps i la durada dels eclipsis. Aquestes variacions no amaguen cap misteri. Reflecteixen l'estat de l'atmosfera en el moment en què es produeix un eclipsi determinat.

En realitat, pot donar-se el cas que durant un eclipsi particular la Lluna no es trobi especialment prop del seu node orbital i com a conseqüència, solament una part del disc s'endinsa en l'ombra. En aquestes ocasions es produeix un *eclipsi parcial de Lluna*. Si la Lluna eludeix l'ombra per complet, llavors es parla d'un *eclipsi penombral* (Veure figura 12). El terme mig per cada any és veure al voltant de dos eclipsis lunars visibles des d'algun lloc de la superfície terrestre.

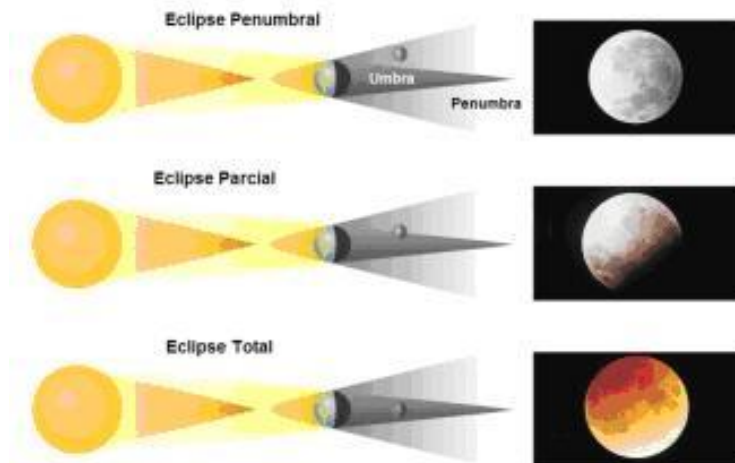


Figura 12: Diagrama dels eclipsis lunars.

La foscor d'un eclipsi de Lluna es pot mesurar utilitzant l'escala de Danjon (Veure figura 13). Un eclipsi 0 en aquesta escala té la foscor màxima. En plena totalitat, la Lluna gairebé no es veu. Els eclipsis 1 de Danjon són molt foscos, presenten una ombra marró fosca o gris i costa apreciar detalls a la superfície lunar. Els eclipsis 2 de Danjon solen ser de color vermell intens o marró vermellós encara que, prop de la vora de l'ombra, la Lluna pot mostrar-se de color taronja brillant. Un eclipsi 3 de Danjon és més brillant, encara que l'ombra es revela de color vermell rogenc i les vores solen adoptar una tonalitat groga intensa. Un eclipsi 4 de Danjon és el més brillant de tots, la Lluna apareix de color taronja brillant o fins i tot groga.



Figura 13: Seqüència de l'eclipsi lunar del 28 d'octubre del 2004.

GRAVITACIÓ I MAREES

Una faula molt repetida explica que un dia Isaac Newton estava assegut en el seu jardí i va veure caure una poma d'un arbre. Newton tenia tant talent que se'n adonà que la mateixa força que intervenia perquè la poma caigués al terra era la que mantenia la Lluna en òrbita al voltant de la Terra. Així mateix va raonar que molt probablement la mateixa classe de força operava entre els planetes i el Sol, i sostenia la Terra i la resta de planetes en les seves òrbites al voltant de la nostra estrella mare. Fora o no la poma el que li inspirà allò, Newton estudià aquelles idees des d'un punt de vista matemàtic i publicà els resultats en la seva obra mestra, *Principia*, en 1687.

Newton va formular una "lleï" que va creure vàlida en qualsevol lloc de l'univers observable:

"Dos cossos qualsevols s'atreuen entre si amb una força proporcional al producte de les seves masses i inversament proporcional al quadrat de la distància que els separa."

La lleï es pot expressar en forma d'equació:

$$F \propto Mm/r^2$$

$$F = GMm/r^2$$

On **F** representa la força d'atracció mútua mesurada en newtons; **M**, **m** són les masses en atracció mesurades en kilograms; **r** és la distància de separació mesurada en metres; i **G** és una constant de proporcionalitat, que comunament es coneix com a constant de la gravitació universal.

Històricament no ha estat fàcil trobar un valor precís de G, però en temps moderns s'ha arribat a una xifra fiable mitjançant sofisticats experiments de laboratori. El seu valor ascendeix a $6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2 \text{ kg}^{-2}$. Coneixent la massa de la Terra i de la Lluna, es pot usar l'equació per calcular les dimensions de la força d'atracció que actua entre elles. S'obté la colossal xifra de $2 \times 10^{20} \text{ N}$.

La majoria d'aquesta força s'exerceix sobre la part sòlida de la Terra, però una fracció de la mateixa incideix en la coberta líquida terrestre i contribueix a produir les mareas oceàniques.

L'embranchida de la Lluna provoca una inflor en els oceans en direcció a aquesta. En efecte, l'aigua de la Terra "s'aixeca" a causa de l'atracció de la Lluna. A més a més, la massa de la Terra també és «aixecada» respecte de l'aigua situada en el costat oposat de la superfície, de manera que en aquest lloc es forma una altra inflor oposada, tal com il·lustra la figura 14. Com la Terra gira sobre el seu eix, cada lloc de la Terra experimenta dues mareas al dia.

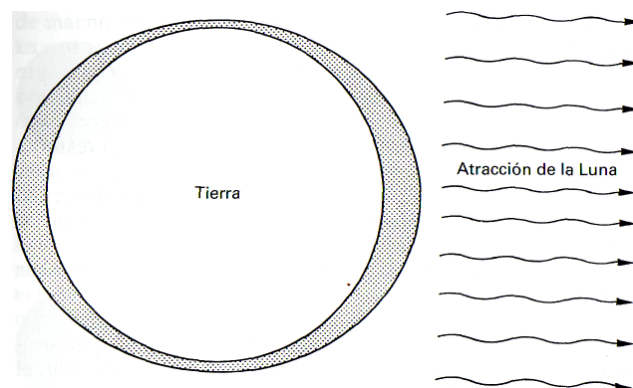


Figura 14: El Procés responsable de les mareas.

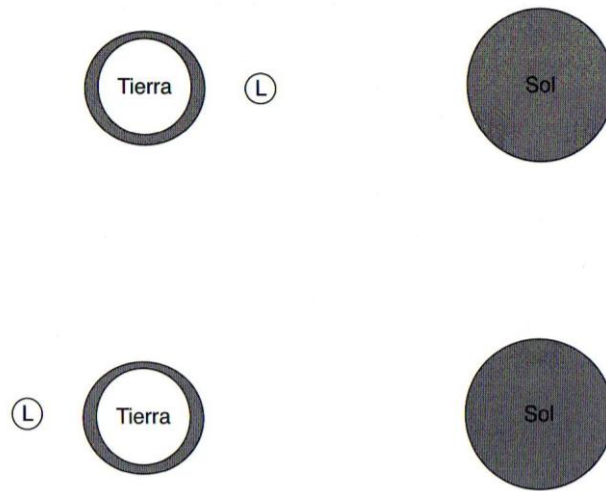


Figura 15: Les marees vives es formen quan les atraccions de la Lluna i el Sol s'alineen (encara que ho facin des de direccions oposades).

El Sol també aporta el seu propi efecte. Encara que el Sol és molt més massiu que la Lluna, es troba molt més lluny i, per tant, les forces de marea del Sol solament ronden la meitat de la magnitud de les lunars. Cap als instants de Lluna nova i Lluna plena, les forces de marea del Sol i la Lluna actuen gairebé al llarg de la mateixa línia recta, de manera que en aquests casos es dona una amplitud màxima de marea, es produeix un nivell extrem de pujada i baixada del mar.

La situació s'il·lustra en la figura 15; llavors es parla de marees vives. Cap a les èpoques en què la Lluna es troba en quart creixent i quart minvant, l'estirada de marea del Sol i la Lluna formen gairebé un angle recte i, per tant, resulten marees d'una amplitud mínima (Veure figura 16). Són les marees mortes.

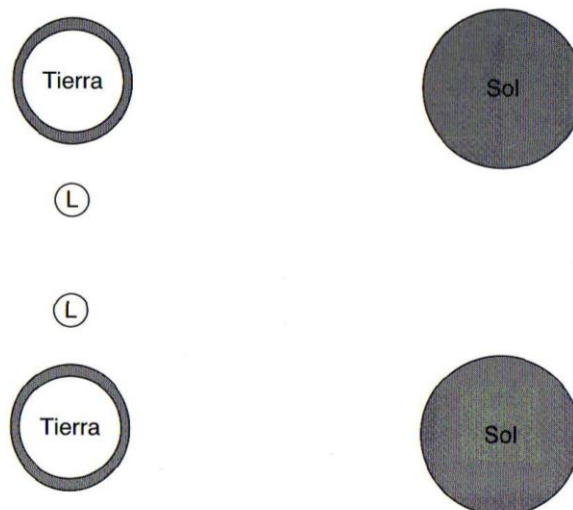


Figura 16: Les marees mortes es donen quan les atraccions de la lluna i el Sol formen un angle recte entre sí.

3.2 DISSENY EXPERIMENTAL

Pràctica I: Confegir un mapa de la lluna a partir de fotografies fetes amb telescopi.

1) DESCRIPCIÓ DE L'EXPERIMENT:

En aquesta pràctica el què es pretén demostrar és que es pot aconseguir una imatge sencera de la lluna a partir de molts fotogrames fets amb el telescopi.

2) PROCEDIMENT

A. CAPTACIÓ DE LES IMATGES LUNARS:

Totes les imatges de la Lluna han estat captades des del pati de l'institut Guindàvols amb el telescopi Meade LX90GPS i la càmera web Meade LPI. Aquest és un potent telescopi amb un GPS incorporat que realitza la recerca d'astres d'una manera automàtica.

D'altra banda, la càmera web adaptada al telescopi permet captar imatges amb bona resolució facilitat per un programa anomenat *Meade*. La càmera web es posa directament en el focus primari del telescopi i amb el programa es modifica el temps d'exposició.

En el nostre cas, el temps d'exposició de totes les imatges va variar, ja que vàrem dur a terme més d'una observació lunar. La primera va oscil·lar entre 0,0008 segons i 0,0014 segons, mentre que la segona observació es va situar entre 0,0057, 0,0081 i 0,0115 segons. Gràcies al GPS incorporat del telescopi la posada en estació d'aquest va resultar molt més senzilla.



Figura 17: Fases de la Lluna.

La captació de les imatges es va realitzar durant un període de dos dies, on vàrem fotografiar la lluna en quart creixent el dia 15 d'octubre de 2010 de les 19.30 fins a les 23.00 hores, i la lluna plena, el dia 20 de desembre de 2010 de les 19.45 fins 21.00 hores.

La correcta captació de totes les parts lunars va ser llarga ja que després de tot, es van captar 265 fotogrames de diferents zones lunars. Finalment es va realitzar una selecció de les millors i més clares per a la realització del mapa lunar.

B.1 MUNTATGE DEL MAPA LUNAR

Realitzada la selecció de les diferents imatges de totes les zones lunars (Veure la galeria d'imatges annex I), s'ha procedit a unir-les per així poder crear una imatge sencera de la Lluna.

Aquest procés ha estat possible gràcies a la utilització d'un programari gratuït especialitzat en la unió d'imatges *Microsoft ICE* (veure annex II). Gràcies a aquest programari la tasca d'unir imatge per imatge va ser més senzilla ja que de forma automàtica detecta els píxels de les cantonades de les imatges i les compara amb les altres, obtenint així similituds i unint els píxels del mateix color.

A partir de diverses imatges s'ha pogut realitzar diferents mapes lunars, tant totals com parcials. Un exemple clar és el següent mapa parcial, (Veure figura 18), aconseguit a partir de 95 imatges, fetes el 15 d'octubre de 2010 de les 19.30 fins a les 23.00 hores.



Figura 18: Primera reconstrucció lunar a partir de les imatges captades amb el telescopi.

El baix pes de les imatges proporciona que una vegada unides disposi d'una qualitat molt elevada, obtenint així una Lluna amb bastants detalls. En aquesta imatge, per exemple, a partir de diversos fotogrames amb una qualitat similar a VGA s'ha arribat a aconseguir una reproducció amb més de 5 megapíxels.

C.1 IDENTIFICACIÓ DE LES ZONES LUNARS

Un cop realitzada la construcció del mapa lunar és necessària la identificació de les zones més conegudes. A partir dels diferents llibres consultats es va poder realitzar la identificació de les parts principals de la lluna (Veure figura 19). La classificació i nomenclatura de cada part es va realitzar a partir de les referències del llibre "*Descubrir la Luna*" de Larousse. Per exemple, en el cas de la imatge de la figura anterior, podem observar les següents zones:

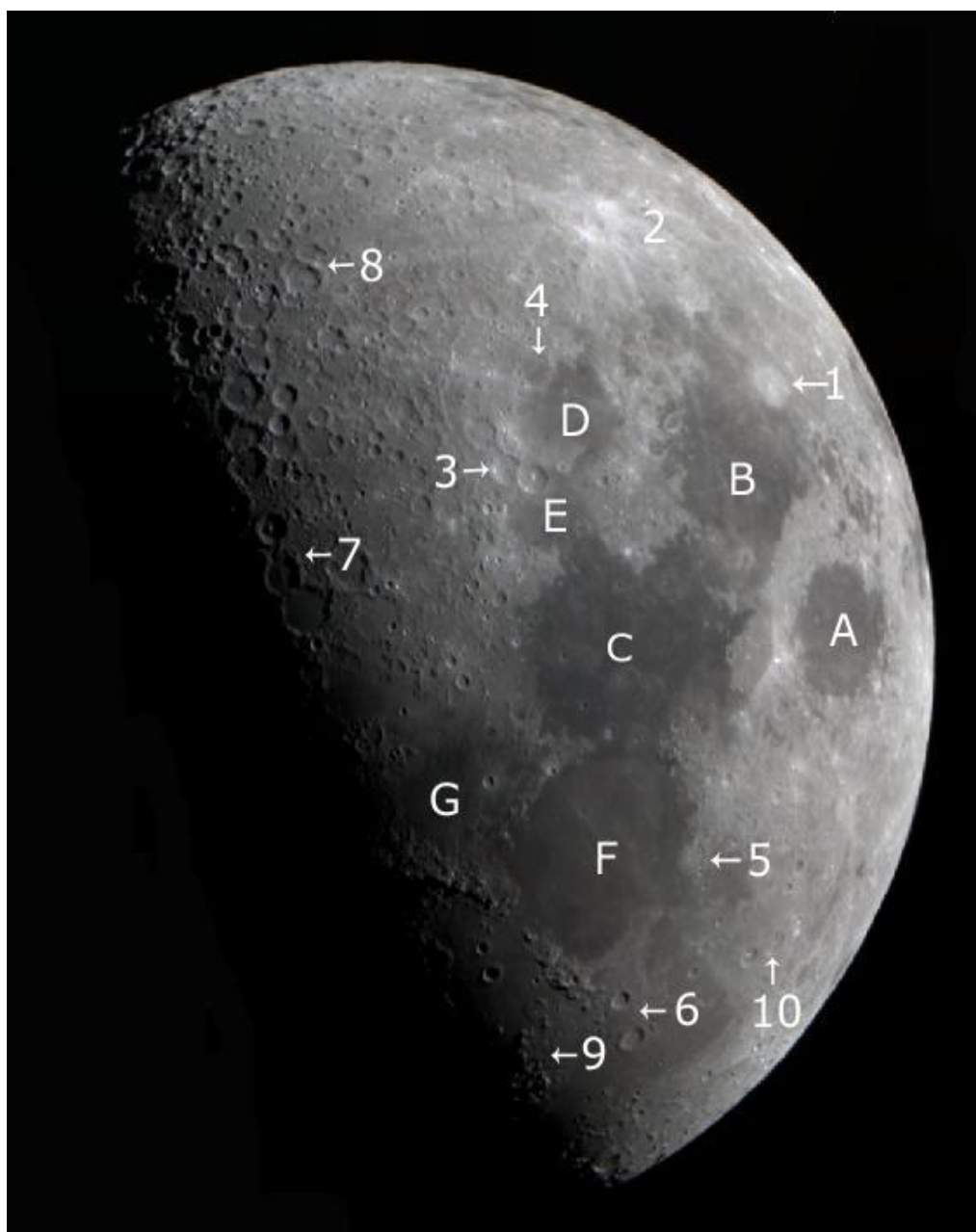


Figura 19: Identificació de les parts característiques de la Lluna.

- | | | |
|-------------------------------|---|---------------------------|
| A Mare Crisium | 1 Langrenus | 8 Maurolycus |
| B Mare Fecunditatis | 2 Petavius | 9 Vallis Alpes |
| C Mare Tranquillitatis | 3 Theophilus, Cyrillus i Catharina | 10 Hercules, Atlas |
| D Mare Nectaris | 4 Fracastorius | |
| E Sinus Asperitatis | 5 Posidonius | |
| F Mare Serenatis | 6 Aristoteles, Eudoxus | |
| G Mare Vaporum | 7 Ptolemaeus, Alphonsus y Arzachel | |

B.2 MUNTATGE DEL MAPA LUNAR

Un altre exemple clar és el següent mapa total (Veure figura 20), aconseguit a partir de 175 imatges, fetes el 20 de desembre de 2010 de les 19.45 fins 21.00 hores



Figura 20: Segona reconstrucció lunar a partir de les imatges captades amb el telescopi.

C.2 IDENTIFICACIÓ DE LES ZONES LUNARS (II)

Un cop realitzada la construcció del mapa lunar és necessària la identificació de les zones més conegudes (Veure figura 21). En aquesta lluna, els raigs solars arriben perpendiculars a la superfície, això fa que les formacions lunars no produeixen ombres, i es vegi un cos llis, amb tonalitats grises.



Figura 21: Identificació de les parts característiques de la Lluna.

A Mare Crisium	I Mare Imbrium	1 Copernicus
B Mare Fecunditatis	J Sinus Iridum	2 Kepler
C Mare Tranquillitatis	K Mare Vaporum	3 Plató
D Mare Serenitatis	L Oceanus Procellarum	4 Grimaldi
E Sinus Asperitatis	M Mare Cognitum	5 Tycho
F Mare Nectaris	N Mare Nubium	6 Langrenus
G Mare Frigoris	O Mare Humorum	7 Petavius
H Sinus Roris	P Palus Epidemiarum	

✓ PROCEDIMENT D'IDENTIFICACIÓ DE LES ZONES LUNARS:

Observar la lluna no és difícil, ja que és el cos astronòmic més proper a la Terra. Amb un petit telescopi o uns bons prismàtics, es poden apreciar molts detalls inimaginables en l'observació de qualsevol altre cos del Sistema Solar.

Quan la Lluna comença el seu període creixent, podem aprofitar per observar detalls destacats a la seva superfície, sobretot, al terminador, la divisió entre la secció il·luminada i la fosca, dia i nit lunar. Les llums i ombres que es produeixen mostren els diferents accidents, les profunditats dels cràters i l'alçada de les serralades.

El millor moment d'observació no és quan hi ha lluna plena, sinó els quarts creixents i minvants, és a dir, en els dies en que la Lluna s'apropa a la Terra.

Quan la lluna és plena els raigs solars arriben a la superfície perpendicularment, d'aquesta manera les formacions lunars no produeixen ombres, es veu un cos llis, amb tonalitats grises. En canvi els dies anteriors i posteriors a la lluna plena les ombres són més pronunciades, perquè els raigs solars incideixen verticalment.

Per dur a terme aquesta pràctica, va ser necessari la utilització de la guia *Descobrir la Luna*, aquesta obra, està concebuda com una guia turística per descobrir la geografia lunar. Nit darrera nit, el lector sap amb exactitud quins són els mar, cràters i muntanyes que es veuen a la Lluna.

Observant els mapes del llibre (Veure figures 22 i 24), vaig poder esbrinar els mars i les formacions del relleu lunar que sortien a la meva fotografia. Prèviament vaig establir una similitud a través de la forma que aquests adoptaven comparant els mapes del llibre amb la meva foto (Veure figura 23).

Per exemple, vaig establir semblances entre els mars, ja que la forma que adopten és molt característica, com el mar de la Tranquil·litat, (amb molta imaginació podem dir, que s'assembla a un cor dibuixat).

A partir d'aquí es podem trobar amb facilitat, els cràters, com els de Theophilus, Cyrillus, Catherina, als quals no costa identificar degut a la seva posició i ubicació.

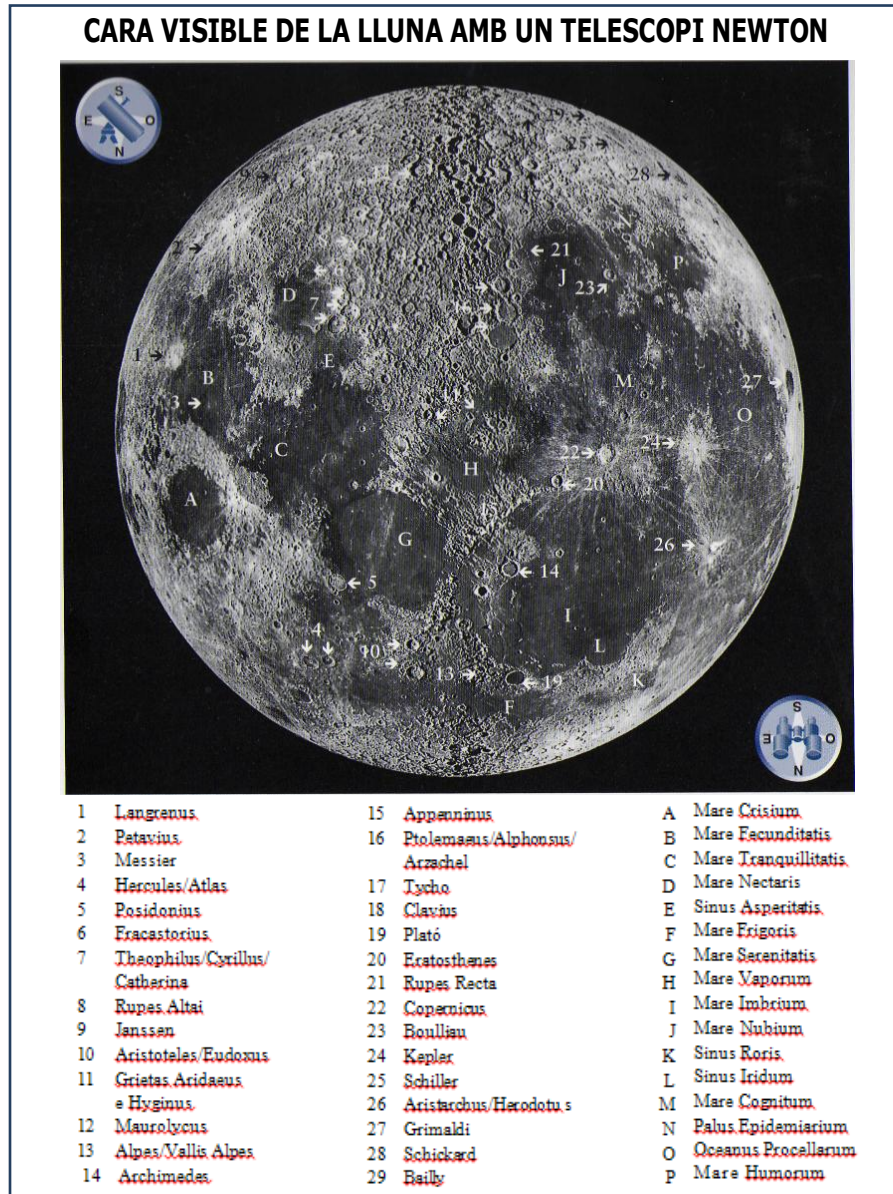


Figura 22: Mapa de la Lluna, procedent del llibre "Descubrir la Luna".



Figura 23: Fotografia de la lluna realitzada en aquest treball.

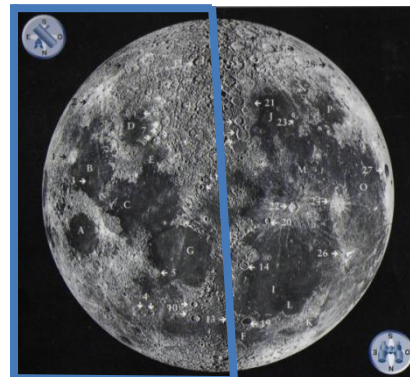


Figura 24: Fotografia model utilitzada per identificar les zones lunars.

3) UTILLATGE

Per realitzar aquesta pràctica va ser necessari l'ajut d'aquests recursos:

- ❖ Programa informàtic, nomenat *Microsoft ICE*, per realitzar la formació de la imatge principal. (Per més informació, Veure annex II)

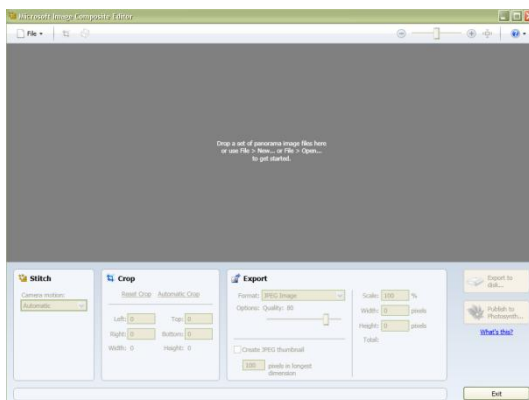


Figura 25: Aspecte del programa Microsoft ICE

- ❖ La guia astronòmica, *Descubrir la Luna* de Larousse



Figura 26: Carátula del llibre "Descubrir la Luna"

4) RESULTATS OBTINGUTS, ANÀLISI I CONCLUSIONS.

Els resultats obtinguts han estat:

1. Amb la metodologia i els procediments utilitzats s'ha pogut confeccionar un mapa parcial i total de la lluna.
2. Tanmateix s'han pogut identificar i nomenar els diferents mars i les formacions presents en els mapes parcial i total.

Com a conclusions cal destacar:

1. L'observació de la lluna en diferents moments del cicle, a través d'un telescopi amb càmera incorporada, permet obtenir diferents fotogrames del seu aspecte.
2. Realitzar un mapa lunar a partir de fotogrames està a l'abast de tothom que tingui les eines adequades.

Pràctica II: Aconseguir visualitzar la lluna en 3D.

1) DESCRIPCIÓ DE L'EXPERIMENT

Durant la següent pràctica intentarem crear una imatge amb tres dimensions, per tal de visualitzar-la amb sensació d'efecte i volum.

2) PROCEDIMENT

A. PROCÉS D'OBTENCIÓ D'IMATGES EN 3D

Les imatges en 3D s'obtenen quan el cervell percep informació de dues imatges del mateix objecte des de perspectives diferents. Aquest efecte nomenat 3D es pot aconseguir de diverses formes. Una d'elles consisteix en sobreposar dues imatges del mateix objecte amb tonalitats blaves i vermelles, vistes des d'angles diferents. Aquesta imatge (en el nostre cas la Lluna) es coneix amb el nom d'anàglifs.

Per a la correcta visualització d'aquest tipus d'imatges és necessària la utilització de lents amb filtres vermells i blaus. El procés de formació de les imatges seria aproximadament de la següent manera (Veure figura 27).

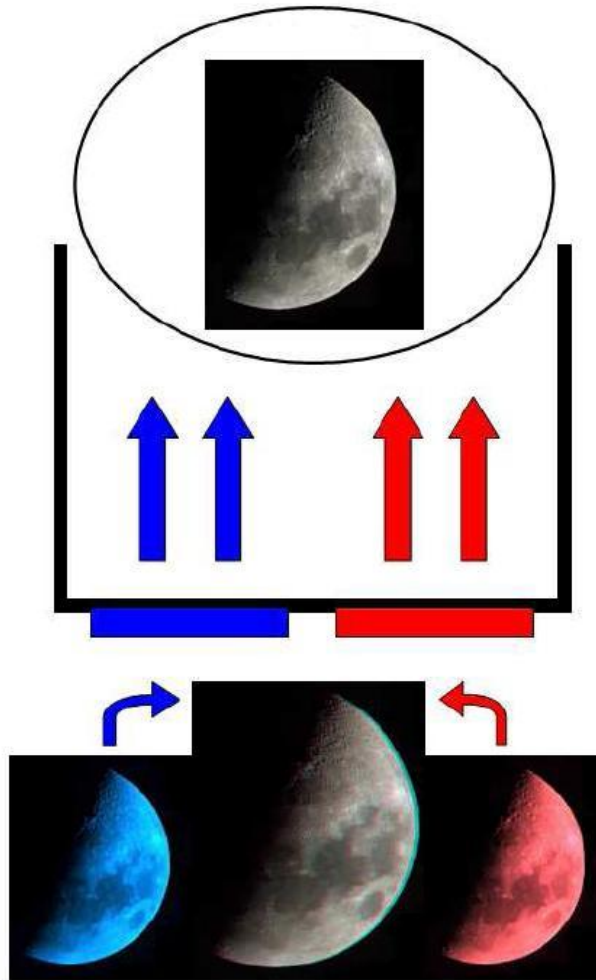


Figura 27: Procés de formació de les imatges en 3D.

B. MUNTATGE DEL MAPA LUNAR EN 3D

Per a la realització de la imatge de la Lluna en 3D s'ha utilitzat el programa *3D Photo Maker* (Veure figura 28 i annex III). Aquest programa permet produir imatges en 3D o estereoscòpiques. El seu funcionament és molt senzill. Només cal seleccionar una imatge perquè el programa, de manera automàtica, processi la seva estructura i generi les diverses capes necessàries per crear l'efecte 3D desitjat.

El programa permet obtenir resultats excel·lents amb senzills passos. Només cal inserir dues imatges amb una diferència de marge de 10 mm. Aquesta diferència fa possible la superposició de les capes. Un cop introduïdes les dues imatges al programa, aquest exposa el resultat en segons.

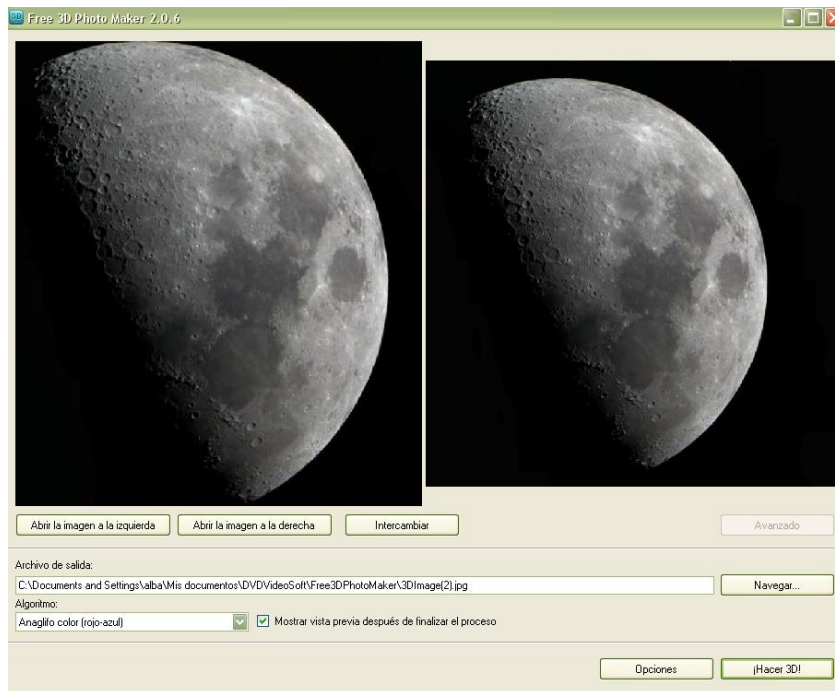


Figura 28: Programa *3D Photo Maker* realitzant la superposició de capes.

Amb el mateix exemple anterior i després d'utilitzar el programa *3D Photo Maker* el resultat obtingut ha estat aquest (Veure figura 29):

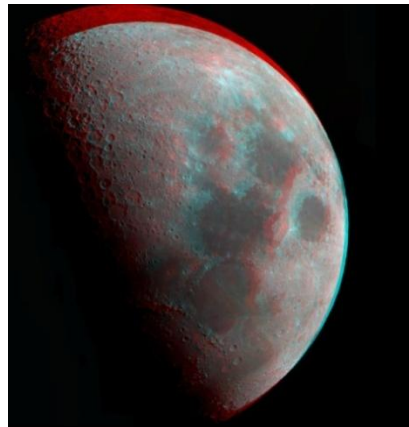


Figura 29: Imatge de la Lluna en 3D

Per a veure millor la imatge creada, podeu utilitzar el model d'ullera que es detalla a l'annex IV.

3) UTILLATGE

Aquesta tasca s'ha dut a terme gràcies a la prèvia disposició de les fotografies, que van ser preses els dies 15 d'octubre (lluna en quart creixent), i el 20 de desembre (lluna plena), tal com hem explicat en la pràctica I.

A continuació vàrem necessitar l'ajut d'un programari capaç de realitzar una imatge en 3D, creant un resultat efectiu.

Així doncs, destacaríem els següents elements, per dur a terme la pràctica correctament:

- ❖ Disposició de dues fotografies (Veure figura 30), amb una diferència de marge aproximada de 10 mm.



Figura 30: Dos fotogrames amb una diferència de marge de 7mm

- ❖ L'ús d'un programari capaç de crear l'efecte desitjat, en aquest cas 3D. En aquesta pràctica s'ha treballat amb el programa *3D Photo Maker*, (Veure figura 31), però, es pot trobar a través d'internet molta varietat de programes d'aquest estil.

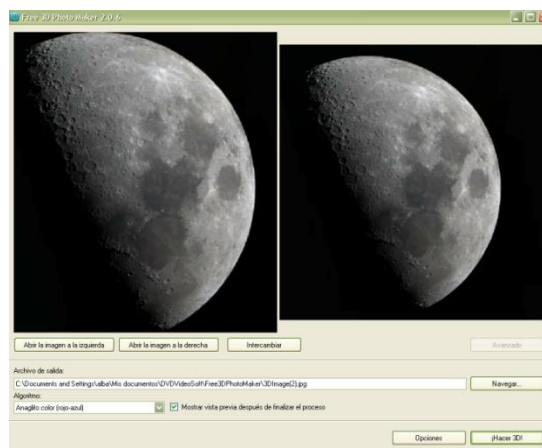


Figura 31: Aspecte del programa 3D Photo Maker

4) RESULTATS OBTINGUTS, ANÀLISI I CONCLUSIONS.

El resultat obtingut ha estat que amb la metodologia i el procediment emprat s'ha aconseguit crear una imatge de la lluna en format 3D.

D'aquesta pràctica podem concloure que, el mapa lunar obtingut a través del processament dels fotogrames realitzats amb el telescopi, es pot visualitzar en format 3D gràcies a un programa de software específic.

Pràctica III: Fer una estimació de l'alçada dels cràters a partir de la determinació del diàmetre de la lluna.

1) DESCRIPCIÓ DE L'EXPERIMENT.

En aquesta pràctica ens hem proposat, fer una estimació de l'alçada d'algun cràter conegut. Per fer-ho necessitem altres dades que són necessàries per realitzar l'exercici correctament.

Per calcular l'alçada d'algun cràter, és imprescindible fer una estimació del diàmetre lunar mitjançant l'ús d'una cambra fosca, d'aquesta manera podem trobar el radi. També és necessari l'obtenció de les següents dades: la distància del cràter al terminator i la longitud de l'ombra d'aquest.

2) PROCEDIMENT

A. DETERMINACIÓ EXPERIMENTAL DEL DIÀMETRE LUNAR

Quan la Terra es troba exactament entre el Sol i la Lluna, aquesta resta il·luminada completament per els raigs solars que li arriben perpendicularment, de tal manera que es produeix la fase que anomenem Lluna Plena. La llum del Sol que hi incideix, es propaga en totes direccions, de manera que des de la Terra aquests raigs ens arriben en línia recta.

Per determinar el diàmetre de la Lluna, haurem de calcular, la distància mitjana de la Terra a la Lluna. És un procediment costós, per la qual cosa, agafarem les dades que es poden trobar a la bibliografia.

Utilitzant una cambra fosca dirigida cap al nostre satèl·lit en un dia de Lluna Plena (Veure figura 32), podem obtenir la projecció d'aquesta sobre la pantalla de la cambra i per tant, obtenir el seu diàmetre aparent (**D2**). A partir del teorema de Thales, mesurant la distància a la qual es projecta la imatge (**L2**) i sabent la distància mitjana compresa entre la Terra i la Lluna (**L1**), podem fer una estimació del diàmetre de la Lluna (**D1**).

Per tant:

$$\alpha_1 = \alpha_2 \longrightarrow \frac{D_1}{L_1} = \frac{D_2}{L_2} \longrightarrow D_1 = \frac{L_1 \times D_2}{L_2}$$

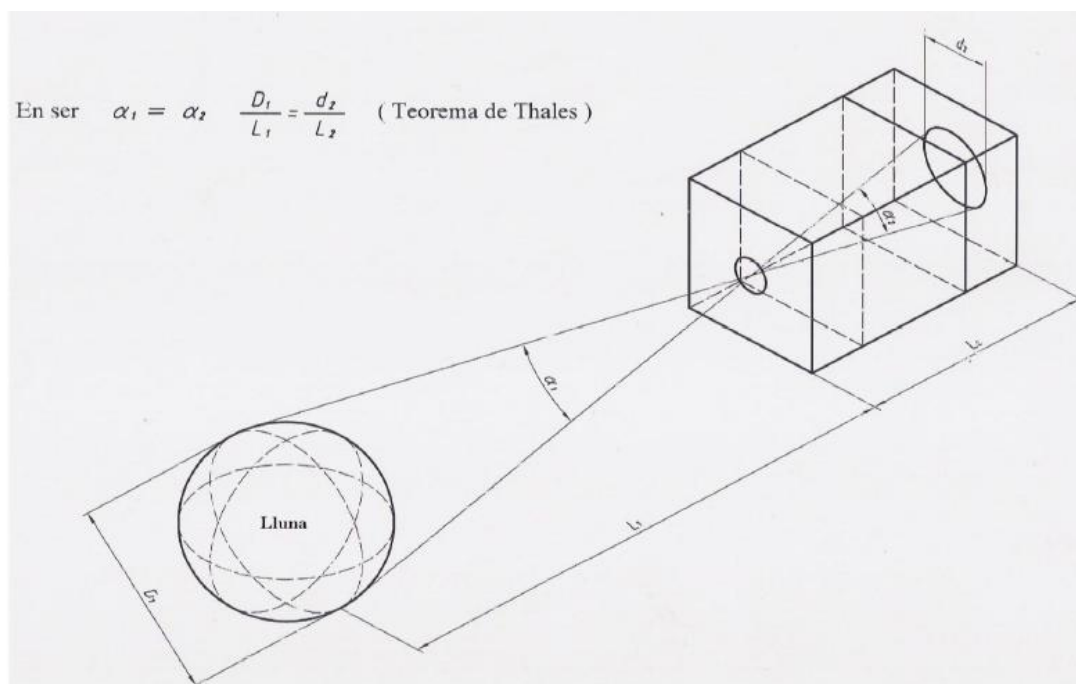


Figura 32: Determinació experimental del diàmetre lunar

A.1 PASSOS A SEGUIR

Per realitzar aquest procés, és molt important escollir una nit de lluna plena.

- Confeccionar una cambra fosca (Veure annex V).
- Col·locar la cambra fosca sobre una base que li doni estabilitat.
- Posar la cambra fosca apuntant a la Lluna de tal manera que la llum emesa incideixi perpendicularment sobre l'orifici d'entrada. Cal que la imatge projectada sobre la pantalla sigui la més nítida possible.
- Durant el seguiment del procés, haurem d'anotar les dades en una taula realitzant els càlculs corresponents amb l'equació anterior.
- Un cop tenim totes les dades i les operacions fetes, és molt important establir el resultat final, tenint també present el càlcul de l'error de mesura.

Una vegada obtingudes totes les dades, amb el funcionament correcte de la cambra fosca, vàrem construir una taula per mostrar la nostra feina.

Aquestes van ser preses el dia 21 de desembre, entre 20:30 i 21:30 hores quan la lluna ja començava a disminuir la seva grossor, tot i que encara es podia considerar lluna plena.

Recordem que:

L_2 = Distància a la qual es projecta la imatge, des de la cambra fosca

D_2 = Diàmetre aparent de la Lluna.

L_1 = Distància mitjana entre la Terra i la Lluna (384.000 Km)

D_1 = Estimació del diàmetre de la Lluna.

Les dades obtingudes van ser les següents:

Mesura	L_2 (mm)	D_2 (mm)	$D_1 = \frac{L_1 \times D_2}{L_2} = Km$
1	267'0	2'5	$3'6 \times 10^3$
2	297'0	2'5	$3'2 \times 10^3$
3	348'0	3'0	$3'3 \times 10^3$

$$D_1 \pm E_a \text{ màxim}$$

Per tant:

$$x = \frac{D_1}{n} = \frac{3'6 \times 10^3 + 3'2 \times 10^3 + 3'3 \times 10^3}{3} = 3'4 \times 10^3$$

$$E_a = 3'4 \times 10^3 \pm 0'20 \times 10^3 \text{ km}$$

$$E_r = \frac{E_a}{x} \times 100$$

$$E_r = \frac{0'20 \times 10^3}{3'4 \times 10^3} \times 100 = 5'88\%$$

$$E_r \approx 5'88\%$$

Un cop determinat el diàmetre lunar, procedim a calcular l'alçada d'algun cràter.

B. DETERMINACIÓ DE L'ALÇADA DELS CRÀTERS

En aquest apartat realitzarem el càlcul de l'alçada d'algun cràter, per fer-ho necessitarem calcular la distància del cràter al terminador i la longitud de l'ombra d'aquest.

Per dur a terme l'activitat següent, utilitzarem el fotograma sencer de la Lluna, pot ser tant en quarts com en Lluna plena. Hem de definir l'escala espacial de la imatge activa, perquè els resultats de la mesura es puguin presentar com unitats calibrades, tals com (cm). Aquesta escala, la dóna directament el programa a partir de la introducció d'una distància i unitats conegudes. Serà igual per totes les operacions que realitzarem.

En el nostre cas l'escala de referència és: 39'43 píxels/cm, és a dir, cada 39'43 píxels serà 1cm.

Cal aclarir que per dur a terme aquest exercici s'han escollit determinats cràters, particularment aquells en els quals l'ombra del cràter es vegi reflectida millor a la fotografia.

B.1 CÀLCUL EXPERIMENTAL DE L'ALÇADA DELS CRÀTERS

Amb el programari Salsa J i sobre la visualització del fotograma seleccionat, marcarem la icona "Analitzar", tot seguit premerem la opció "Fijar escala" amb la finalitat de definir l'escala.

Quan ja tenim l'escala, amb el ratolí ens dirigirem cap a "Selecció rectilínia".

■ Amb aquesta icona començarem a prendre mesures tant de l'ombra del cràter com de la distància d'aquest al terminador (Veure figures 33 i 34).

Quan ja disposem de totes les mesures aparents, caldrà calcular per proporcionalitat, l'alçada real del cràter (en km) i acabarem calculant l'error de mesura.



Figura 33: Distància del cràter al terminador Figura 34: Mesura de l'ombra del cràter

Per calcular l'alçada aparent del cràter s'ha seguit el procediment utilitzat per Ros RM. Aquest protocol, desenvolupat per a calcular l'alçada de les muntanyes, arriba a la fórmula final mitjançant coneixements de trigonometria i proporcions (Veure figura 35). El raonament matemàtic només té valor per l'instant en que la Lluna es troba en quart creixent o minvant. En aquests casos el raigs solars són perpendiculars al terminador. Llavors els angles **D** i **D'** són de 90°.

El protocol utilitza per al càlcul: la longitud de l'ombra de la muntanya **AB**, la distància de la muntanya al terminador **AD**, i el radi lunar **r**.

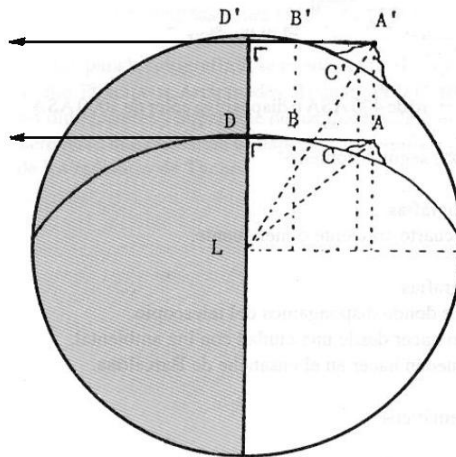


Figura 35: Esquema de les proporcions geomètriques, segons Ros RM.

A partir de la projecció dels diferents triangles s'obté la relació:

$$\frac{A'D'}{A'C'} = \frac{A'L}{A'B'}$$

On:

A'D'=AD=d= Distància de la muntanya A al terminador, sobre la foto.

A'L= h+r= Distància del centre de la Lluna al cim de la muntanya.

El radi de la Lluna **r** + l'alçada **h** de la muntanya.

A'C'=h= Alçada de la muntanya, sobre la foto.

A'B'=AB=l= Longitud de l'ombra de la muntanya, sobre la foto.

A partir d'aquí queda:

$$\frac{d}{h} = \frac{h+r}{l}$$

D'on s'obté l'equació:

$$h^2 + hr - dl = 0$$

Que té per solució:

$$h = \frac{-r \pm \sqrt{r^2 - 4 \times l \times d}}{2}$$

Per fer el càlcul de l'alçada aparent del cràter, hem obtingut les dades a partir del programari Salsa J, a diferència del protocol de Ros que les obté mesurant directament a la imatge, i hem utilitzat la fórmula corresponent:

$$h = \frac{-r \pm \sqrt{r^2 - 4 \times l \times d}}{2}$$

On:

- h**= Alçada del cràter a la fotografia (cm)
- r**= Radi de la Lluna a la fotografia (cm)
- l**= Longitud de l'ombra del cràter a la fotografia (cm)
- d**= Distància del cràter al terminador (cm)

Finalment introduïm una senzilla proporció entre la mida real de l'objecte i la mida que hem obtingut a la fotografia.

Per tant resultarà la següent fórmula:

$$H = \frac{R \times h}{r}$$

On:

- H**= Alçada real del cràter (m)
- R**= Radi real de la Lluna (1690000m)
- r**= Radi de la Lluna a la fotografia (cm)
- h**= Alçada corresponent a la fotografia del cràter (cm)

A partir d'aquestes dues fórmules, i amb les dades corresponents començarem a calcular les alçades dels cràters seleccionats.

En aquesta pràctica hem escollit aquells cràters que presenten l'ombra més visible als fotogrames obtinguts. És el cas dels cràters: Eudoxus, Franklin i Werner.

CRÀTER EUDOXUS

El cràter Eudoxus (Veure figures 36 i 37), té una formació circular, amb pendents molt fortes, i parets molt altes. El cràter està rodejat de muntanyes i turons, el terra és molt abrupte.

Aquest cràter de 67Km de diàmetre es localitza al quadrant Nord-Est de la superfície lunar, situat al nord de la regió del *Mare Serenitatis*, amb una latitud de 44'30° nord i una longitud de 16'30° est. El podem trobar formant una parella perfecta amb Aristòtil.

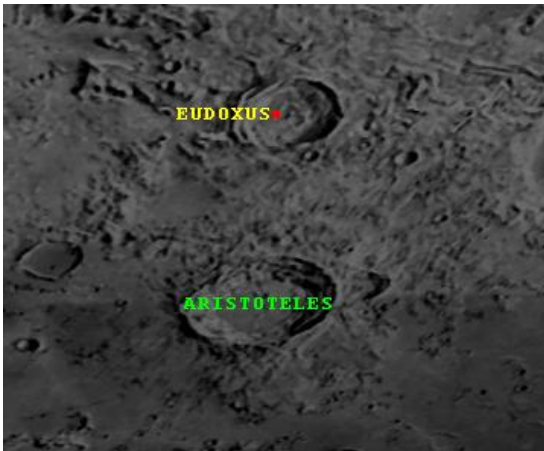


Figura 36: Cràter Eudoxus, imatge obtinguda amb el programari Virtual Moon Atlas.



Figura 37: Cràter Eudoxus, imatge obtinguda en la nostra observació.

A partir del programari Salsa J hem pogut determinar que:

ALÇADA DEL CRÀTER EUDOXUS (km)		MESURES APARENTS (cm)
REAL (A_{R-CE})	APARENT (A_{CE})	
3'50km	3'70km	l= 0'091 cm
		d= 2'152 cm
		r= 9'452 cm

$$h = \frac{-r \pm \sqrt{r^2 - 4 \times l \times d}}{2} = \frac{-9'452 \pm \sqrt{9'452^2 - 4 \times 0'091 \times 2'152}}{2} = 0'0207 \text{ cm}$$

Un cop tenim l'alçada aparent del cràter, establim la relació amb l'alçada real. El radi real de la Lluna (R), l'hem extret de la pràctica anterior (Veure A.1), així que:

$$H = \frac{R \times h}{r} = \frac{1690000(m) \times 0'0207(cm)}{9'452(cm)} = 3700'39 \text{ m} = 3'70 \text{ km}$$

Sabent que l'alçada real del cràter és 3'50km, podem calcular l'error de mesura:

$$E_r = \frac{A_{CE} - A_{R-CE}}{A_{R-CE}} \times 100 = \frac{3'70 - 3'50}{3'50} \times 100 = 5'71\%$$

L'error relatiu comés es de l'ordre d'un 6% aproximadament.

CRÀTER FRANKLIN

El cràter Franklin (Veure figures 38 i 39), té una formació circular, amb vessants molt empinades, i parets molt altes. El cràter està rodejat de turons i al centre s'hi allotja una muntanya.

Aquest cràter de 56Km de diàmetre es localitza al quadrant Nord-Est de la superfície lunar, situat al Sud-Est de la regió del cràter *Atlas*, amb una latitud de 38'8° nord i una longitud de 47'7° est.

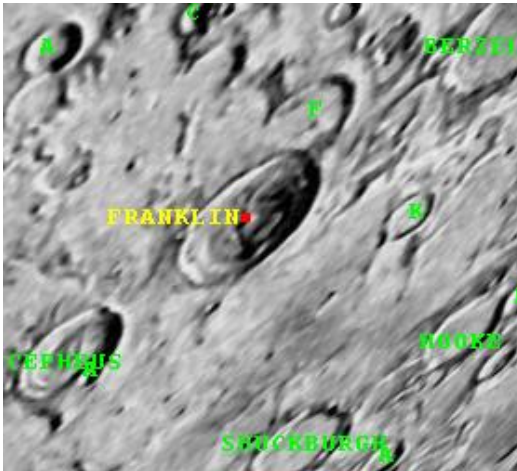


Figura 38: Cràter Franklin, imatge obtinguda amb el programari Virtual Moon Atlas.



Figura 39: Cràter Franklin, imatge obtinguda en la nostra observació.

A partir del programari Salsa J hem pogut determinar que:

ALÇADA DEL CRÀTER FRANKLIN (km)		MESURES APARENTS (cm)
REAL (A_{R-CF})	APARENT (A_{CF})	l= 0'147 cm
2'70km	2'48km	d= 0'892 cm
		r= 9'452 cm

$$h = \frac{-r \pm \sqrt{r^2 - 4 \times l \times d}}{2} = \frac{-9'452 \pm \sqrt{9'452^2 - 4 \times 0'147 \times 0'892}}{2} = 0'0139 \text{ cm}$$

Un cop tenim l'alçada aparent del cràter, establim la relació amb l'alçada real. El radi real de la Lluna (R), l'hem extret de la pràctica anterior (vegeu A.1), així que:

$$H = \frac{R \times h}{r} = \frac{1690000(m) \times 0'0139(cm)}{9'452(cm)} = 2478'58 \text{ m} = 2'48 \text{ km}$$

Sabent que l'alçada real del cràter és 2'70 km, podem calcular l'error de mesura:

$$E_r = \frac{A_{CF} - A_{R-CF}}{A_{R-CF}} \times 100 = \frac{2'50 - 2'70}{2'70} \times 100 = 8'87\%$$

L'error relatiu comés es de l'ordre d'un 9% aproximadament.

CRÀTER WERNER

El cràter Werner (Veure figures 40 i 41), té una formació circular, amb pendents molt fortes, i parets molt altes. El terra del cràter és molt abrupte. El podem trobar formant una parella espectacular amb Aliacensis

Aquest cràter de 70Km de diàmetre es localitza al quadrant Sud-Est de la superfície lunar, situat a la regió del cràter *Arzachel*, amb una latitud de 28'0° nord i una longitud de 3'30° est.

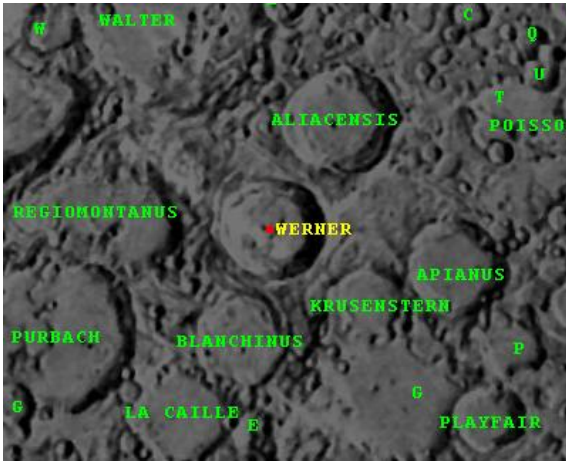


Figura 40: Cràter Werner, imatge obtinguda amb el programari Virtual Moon Atlas.



Figura 41: Cràter Werner, imatge obtinguda en la nostra observació.

A partir del programari Salsa J hem pogut determinar que:

ALÇADA DEL CRÀTER WERNER (km)		MESURES APARENTS (cm)
REAL (A_{R-CW})	APARENT (A_{CW})	$l = 0'139 \text{ cm}$
4'20km	4'03km	$d = 1'534 \text{ cm}$
		$r = 9'452 \text{ cm}$

$$h = \frac{-r \pm \sqrt{r^2 - 4 \times l \times d}}{2} = \frac{-9'452 \pm \sqrt{9'452^2 - 4 \times 0'139 \times 1'534}}{2} = 0'0225 \text{ cm}$$

Un cop tenim l'alçada aparent del cràter, establim la relació amb l'alçada real. El radi real de la Lluna (R), l'hem extret de la pràctica anterior (vegeu A.1), així que:

$$H = \frac{R \times h}{r} = \frac{1690000(m) \times 0'0225(cm)}{9'452(cm)} = 4028'67 \text{ m} = 4'028 \text{ km}$$

Sabent que l'alçada real del cràter és 4'20km, podem calcular l'error de mesura:

$$E_r = \frac{A_{CW} - A_{R-CW}}{A_{R-CW}} \times 100 = \frac{4'03 - 4'20}{4'20} \times 100 = 4'08\%$$

L'error relatiu comés es de l'ordre d'un 4% aproximadament.

3) UTILLATGE

Per realitzar l'exercici necessitem l'ajut de:

- ❖ La cambra fosca.
- ❖ Les fotografies seleccionades obtingudes en les observacions.
- ❖ El programari Salsa J. (Veure annex VI).
- ❖ El programa *Virtual Moon Atlas*, per identificar el nom dels cràters.

4) RESULTATS OBTINGUTS, ANÀLISI I CONCLUSIONS.

1. El diàmetre de la Lluna obtingut a partir de la utilització d'una cambra fosca és d'un $(3'4 \times 10^3 \pm 0'20 \times 10^3)$ km.
2. El percentatge d'error relatiu comés en la determinació del diàmetre de la lluna és d'un 5'88% aproximadament.
3. L'alçada dels cràters de la Lluna que hem pogut calcular han estat:
 - L'alçada del cràter Eudoxus, de 3'70 km
 - L'alçada del cràter Franklin, de 2'50 km
 - L'alçada del cràter Werner, de 4'03 km
4. El percentatge d'error comés en cada determinació ha estat, aproximadament, de:
 - En el cràter Eudoxus, d'un 6%.
 - En el cràter Franklin, d'un 9%.
 - En el cràter Werner, d'un 4%.

Finalment podem concloure que:

1. Es pot fer una estimació del diàmetre de la Lluna mitjançant l'ús d'un utillatge senzill i al nostre abast, com una cambra fosca.
2. Es possible determinar l'alçada dels cràters lunars sempre i quan coneguem el diàmetre de la Lluna en la fotografia i disposem d'un programari específic.

Pràctica IV: Fer una estimació del radi dels cràters lunars.

1) DESCRIPCIÓ DE L'EXPERIMENT

En aquesta última pràctica s'intentarà fer una estimació del diàmetre d'algun cràter lunar. Per fer-ho necessitem les fotografies de la superfície lunar, i l'ajut del programari AUTOCAD 2008. (Veure annex VII).


2) PROCEDIMENT

A. DETERMINACIÓ DEL RADI DELS CRÀTERS.

Per realitzar la següent activitat, és molt important disposar de les fotografies que s'han presentat en els exercicis anteriors. També serà necessari l'ús del programa *Virtual Moon Atlas*, el qual ens permetrà identificar els cràters presents en les nostres imatges. Recordem que el telescopi ens dóna una imatge invertida de la situació real. Amb el programari AUTOCAD 2008 farem el tractament de les imatges.

Tot hi que durant les observacions s'ha pogut obtenir un gran nombre de fotogrames lunars, ha estat necessari fer una revisió d'aquests per seleccionar aquells que mostrin una bona imatge del cràter i de la franja lunar, ja que d'aquesta manera podrem determinar el radi de la Lluna. (Veure figura 42).

A.1 CÀLCUL EXPERIMENTAL DEL RADI DELS CRÀTERS

Amb el programari AUTOCAD 2008 i sobre la visualització del fotograma seleccionat (Veure figura 42), marcarem tres punts prement , els quals definiran l'arc de la Lluna. Un cop tenim l'arc, situarem el cursor a l'ordre "List", i obtindrem el radi aparent de la Lluna en unitats de mesura (u)*.

Finalitzada aquesta acció, calcularem el radi aparent del cràter en unitats de mesura (u) introduint l'ordre "Arc" i designant el punt inicial i final del radi del cràter.

Quan ja disposem del radi aparent tant del cràter com de la lluna, caldrà calcular per proporcionalitat, el radi real del cràter (en km). Per acabar, calcularem l'error de mesura.

**Cal tenir en compte que cada imatge tractada dibuixarà un arc determinat, i per tant un radi determinat. En cada imatge el radi serà diferent i s'hauran de fer les mesures a partir d'aquest.*



Figura 42: representació de la imatge utilitzant el programari AUTOCAD 2008

En aquesta activitat utilitzarem les fotografies corresponents als cràters Eudoxus, Posidonius, Hèrcules i Macrobius.

CRÀTER EUDOXUS

El cràter Eudoxus (Veure figures 43 i 44), té una formació circular, amb pendents molt fortes, i parets molt altes. El cràter està rodejat de muntanyes i turons, el terra és molt abrupte.

Aquest cràter de 67Km de diàmetre es localitza al quadrant Nord-Est de la superfície lunar, situat al nord de la regió del *Mare Serenitatis*, amb una latitud de 44'30° nord i una longitud de 16'30° est. El podem trobar formant una parella perfecta amb Aristòtil.

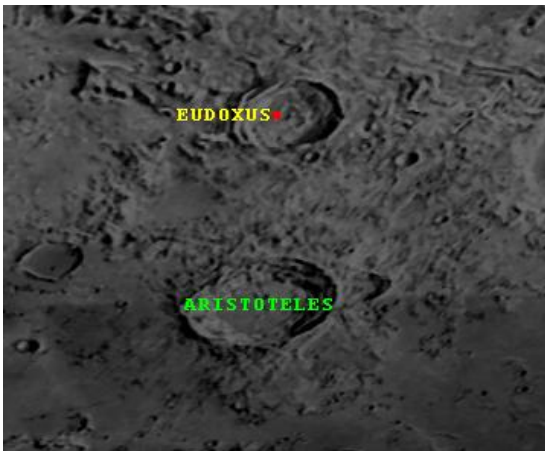


Figura 43: Cràter Eudoxus, imatge obtinguda del programari Virtual Moon Atlas



Figura 44: Cràter Eudoxus, imatge obtinguda en la nostra observació.

Mitjançant el programa AUTOCAD hem pogut obtenir les dades següents:

	RADI APARENT (u)
Lluna (r_{LL})	527'38
Cràter Eudoxus (r_{CE})	12'2

A la pràctica III, nosaltres hem calculat el diàmetre lunar, ($3'4 \times 10^3 \pm 0'20 \times 10^3$). Sabent el diàmetre, podem obtenir el radi amb una simple operació, així que, prendrem com a radi lunar (R_{LL}) 1.690km. Si el radi lunar és aquest, el radi del cràter Eudoxus(R_{CE}) serà el següent:

$$\frac{R_{CE}}{R_{LL}} = \frac{r_{CE}}{r_{LL}} \longrightarrow R_{CE} = R_{LL} \times \frac{r_{CE}}{r_{LL}} \longrightarrow R_{CE} = 1690km \times \frac{12'2u}{527'38u} = 39'1km$$

Sabent que el radi real d'Eudoxus (R_{R-CE}) és de 33'5 km, podem calcular l'error de mesura, tal que:

$$E_r = \frac{R_{CE} - R_{R-CE}}{R_{R-CE}} \times 100 = \frac{39'1 - 33'5}{33'5} \times 100 = 16'70\%$$

L'error relatiu comés es de l'ordre d'un 17% aproximadament.

CRÀTER POSIDONIUS

El cràter Posidoni (Veure figures 45 i 46), té una formació circular, amb pocs pendents, i amb murs molt alts. El terra del cràter és molt abrupte i poc profund.

Aquest cràter de 95Km de diàmetre es localitza al quadrant Nord-Est de la superfície lunar, situat al nord-est de la regió del *Mare Serenitatis*, amb una latitud de 31'8° nord i una longitud de 29'9° est. El podem trobar formant una parella extraordinària amb Chacornac.

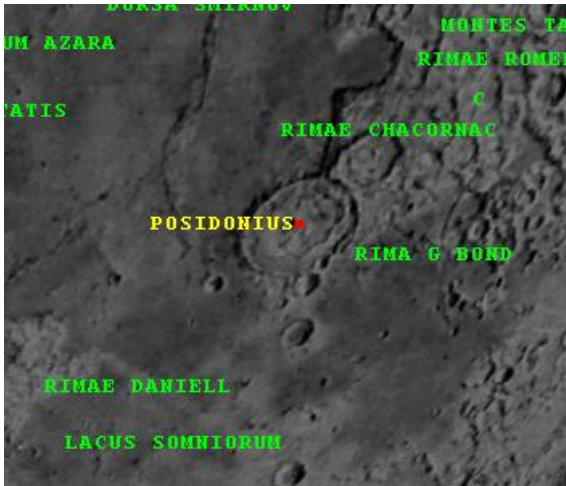


Figura 45: Cràter Posidoni, imatge obtinguda del programari Virtual Moon Atlas



Figura 46: Cràter Posidoni, imatge obtinguda en la nostra observació.

Mitjançant el programa AUTOCAD hem pogut obtenir les dades següents:

	RADI APARENT (u)
Lluna (r_{LL})	620'94
Cràter Posidoni (r_{CP})	20'1

A la pràctica III, nosaltres hem calculat el diàmetre lunar, ($3'4 \times 10^3 \pm 0'20 \times 10^3$). Sabent el diàmetre, podem obtenir el radi amb una simple operació, així que, prendrem com a radi lunar (R_{LL}) 1.690km. Si el radi lunar és aquest, el radi del cràter Posidoni (R_{CP}) serà el següent:

$$\frac{R_{CP}}{R_{LL}} = \frac{r_{CP}}{r_{LL}} \longrightarrow R_{CP} = R_{LL} \times \frac{r_{CP}}{r_{LL}} \longrightarrow R_{CP} = 1690km \times \frac{20'1u}{620'94u} = 54'7km$$

Sabent que el radi real del cràter Posidoni (R_{R-CP}) és de 47'5km, podem calcular l'error de mesura, tal que:

$$E_r = \frac{R_{CP} - R_{R-CP}}{R_{R-CP}} \times 100 = \frac{54'7 - 47'5}{47'5} \times 100 = 15'2\%$$

L'error relatiu comés es de l'ordre d'un 15% aproximadament.

CRÀTER HÈRCULES

El cràter Hèrcules (Veure figures 47 i 48), té una formació circular, amb vessants empinades i altes parets. Al seu interior s'amaga un petit cràter de 13km.

Hèrcules és un cràter de 69Km de diàmetre es localitza al quadrant Nord-Est de la superfície lunar, situat al nord-est de la regió del *Mare Serenitatis*, amb una latitud de 46'7° nord i una longitud de 39'1° est. Es troba formant una parella extraordinària amb Atlas.

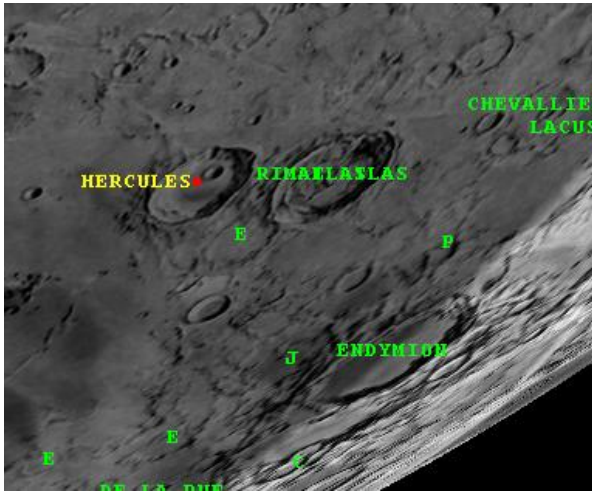


Figura 47: Cràter Hèrcules, imatge obtinguda del programari Virtual Moon Atlas

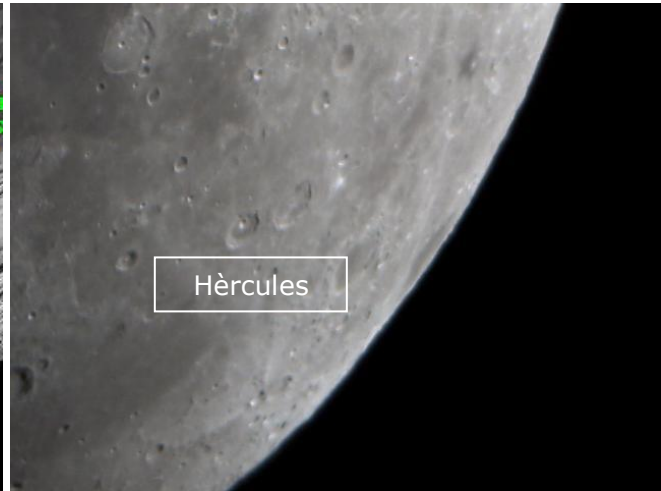


Figura 48: Cràter Hèrcules, imatge obtinguda en la nostra observació.

Mitjançant el programa AUTOCAD hem pogut obtenir les dades següents:

	RADI APARENT (u)
Lluna (r_{LL})	588'7
Cràter Hèrcules (r_{CH})	14'6

A la pràctica III, nosaltres hem calculat el diàmetre lunar, ($3'4 \times 10^3 \pm 0'20 \times 10^3$). Sabent el diàmetre, podem obtenir el radi amb una simple operació, així que, prendrem com a radi lunar (R_{LL}) 1.690km. Si el radi lunar és aquest, el radi del cràter Hèrcules (R_{CH}) serà el següent:

$$\frac{R_{CH}}{R_{LL}} = \frac{r_{CH}}{r_{LL}} \longrightarrow R_{CH} = R_{LL} \times \frac{r_{CH}}{r_{LL}} \longrightarrow R_{CH} = 1690km \times \frac{14'6u}{588'7u} = 41'9km$$

Sabent que el radi real d'Hèrcules (R_{R-CH}) és de 34'5 km, podem calcular l'error de mesura, tal que:

$$E_r = \frac{R_{CH} - R_{R-CH}}{R_{R-CH}} \times 100 = \frac{41'9 - 34'5}{34'5} \times 100 = 21'5\%$$

L'error relatiu comés es de l'ordre d'un 22% aproximadament.

CRÀTER MACROBIUS

El cràter Macrobius (Veure figures 49 i 50), té una formació circular, amb vessants empinades, i murs molt alts. Al seu interior s'allotgen muntanyes i turons.

Macrobius és un cràter de 64Km de diàmetre es localitza al quadrant Nord-Est de la superfície lunar, situat al nord-oest de la regió del *Mare Crisium*, amb una latitud de 21'30° nord i una longitud de 46'00° est. Es pot localitzar formant una parella interessant amb Tisserand.

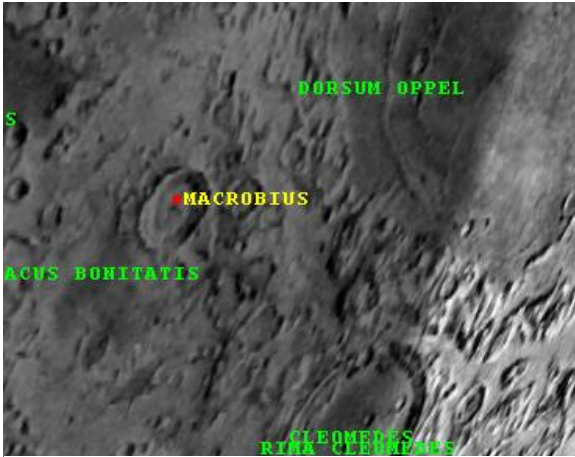


Figura 49: Cràter Macrobius, imatge obtinguda del programari Virtual Moon Atlas

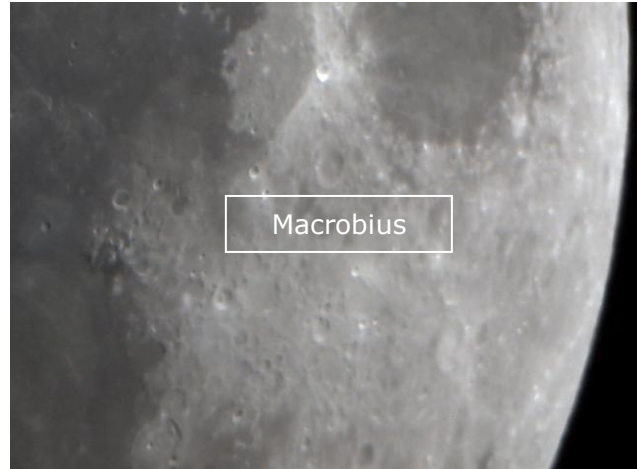


Figura 50: Cràter Macrobius, imatge obtinguda en la nostra observació.

Mitjançant el programa AUTOCAD hem pogut obtenir les dades següents:

	RADI APARENT (u)
Lluna (r_{LL})	608'1
Cràter Macrobius (r_{CM})	12'6

A la pràctica III, nosaltres hem calculat el diàmetre lunar, ($3'4 \times 10^3 \pm 0'20 \times 10^3$). Sabent el diàmetre, podem tenir el radi amb una simple operació, així que, prendrem com a radi lunar (R_{LL}) 1.690km. Si el radi lunar és aquest, el radi del cràter Macrobius (R_{CM}) serà el següent:

$$\frac{R_{CM}}{R_{LL}} = \frac{r_{CM}}{r_{LL}} \longrightarrow R_{CM} = R_{LL} \times \frac{r_{CM}}{r_{LL}} \longrightarrow R_{CM} = 1690km \times \frac{12'6u}{608'1u} = 35'02km$$

Sabent que el radi real de Macrobius (R_{R-CM}) és de 32'0km, podem calcular l'error de mesura, tal que:

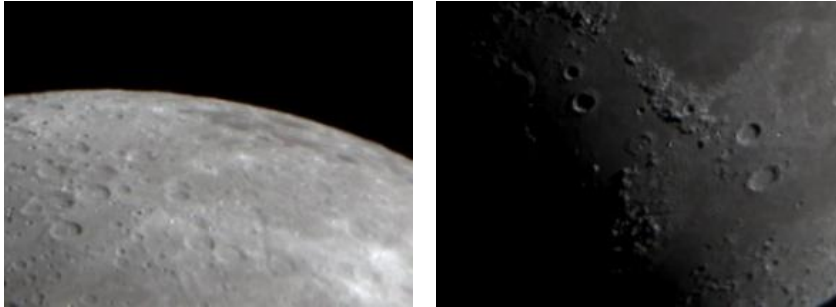
$$E_r = \frac{R_{CM} - R_{R-CM}}{R_{R-CM}} \times 100 = \frac{35'02 - 32'0}{32'0} \times 100 = 9'4\%$$

L'error relatiu comés es de l'ordre d'un 9% aproximadament.

3) UTILLATGE

Per realitzar l'exercici necessitem l'ajut de:

- ❖ Les fotografies seleccionades obtingudes en les observacions



- ❖ El programari AUTOCAD (nosaltres hem utilitzat l'edició 2008, qualsevol es útil.)
- ❖ El programa *Virtual Moon Atlas*, per identificar el nom dels cràters.

4) RESULTATS OBTINGUTS, ANÀLISI I CONCLUSIONS.

Els resultats obtinguts en aquesta pràctica han estat els següents:

1. Els radis dels cràters que hem pogut calcular han estat:
 - El radi del cràter Eudoxus, de 39'1 km
 - El radi del cràter Posidonius, de 54'7 km
 - El radi del cràter Hèrcules, de 41'9 km
 - El radi del cràter Macrobius, de 35 km
2. El percentatge d'error comés en cada determinació ha estat, aproximadament, de:
 - En el cràter Eudoxus, d'un 17%.
 - En el cràter Posidonius, d'un 15%.
 - En el cràter Hèrcules, d'un 22%.
 - En el cràter Macrobius, d'un 9%.

I finalment podem concloure que:

Es pot fer una estimació del radi dels cràters de la Lluna mitjançant el tractament de les imatges seleccionades amb el programari AUTOCAD 2008.

4. CONCLUSIONS FINALS I OPINIÓ PERSONAL

Les conclusions finals d'aquest treball de recerca han estat:

1. L'observació de la lluna en diferents moments del cicle, a través d'un telescopi amb càmera incorporada, permet obtenir diferents fotogrames del seu aspecte.
2. Realitzar un mapa lunar a partir de fotogrames està a l'abast de tothom que tingui les eines adequades.
3. El mapa lunar obtingut a través del processament dels fotogrames realitzats amb el telescopi, es pot visualitzar en format 3D gràcies a un programa de software específic.
4. Es pot fer una estimació del diàmetre de la Lluna mitjançant l'ús d'un utilitat senzill i al nostre abast, com una cambra fosca.
5. Es possible determinar l'alçada dels cràters lunars sempre i quan coneguem el diàmetre de la Lluna en la fotografia i disposem d'un programari específic.
6. Es pot fer una estimació del radi dels cràters de la Lluna mitjançant el tractament de les imatges seleccionades amb el programari AUTOCAD 2008.

Al finalitzar el treball de recerca, crec haver aprofundit i ampliat els meus coneixements sobre la Lluna. Ha estat una sorpresa per a mi comprovar la gran similitud entre els fotogrames obtinguts i la realitat.

Es segur que després d'aquest treball la meva curiositat per la Lluna és encara més gran. La gran bellesa i a la vegada el gran magnetisme que em desperta aquest astre, farà que a partir d'ara, cada cop que el contempli, obri el meu cor, la incògnita del saber i el record d'aquest treball de recerca tant interessant.

5. BIBLIOGRAFIA

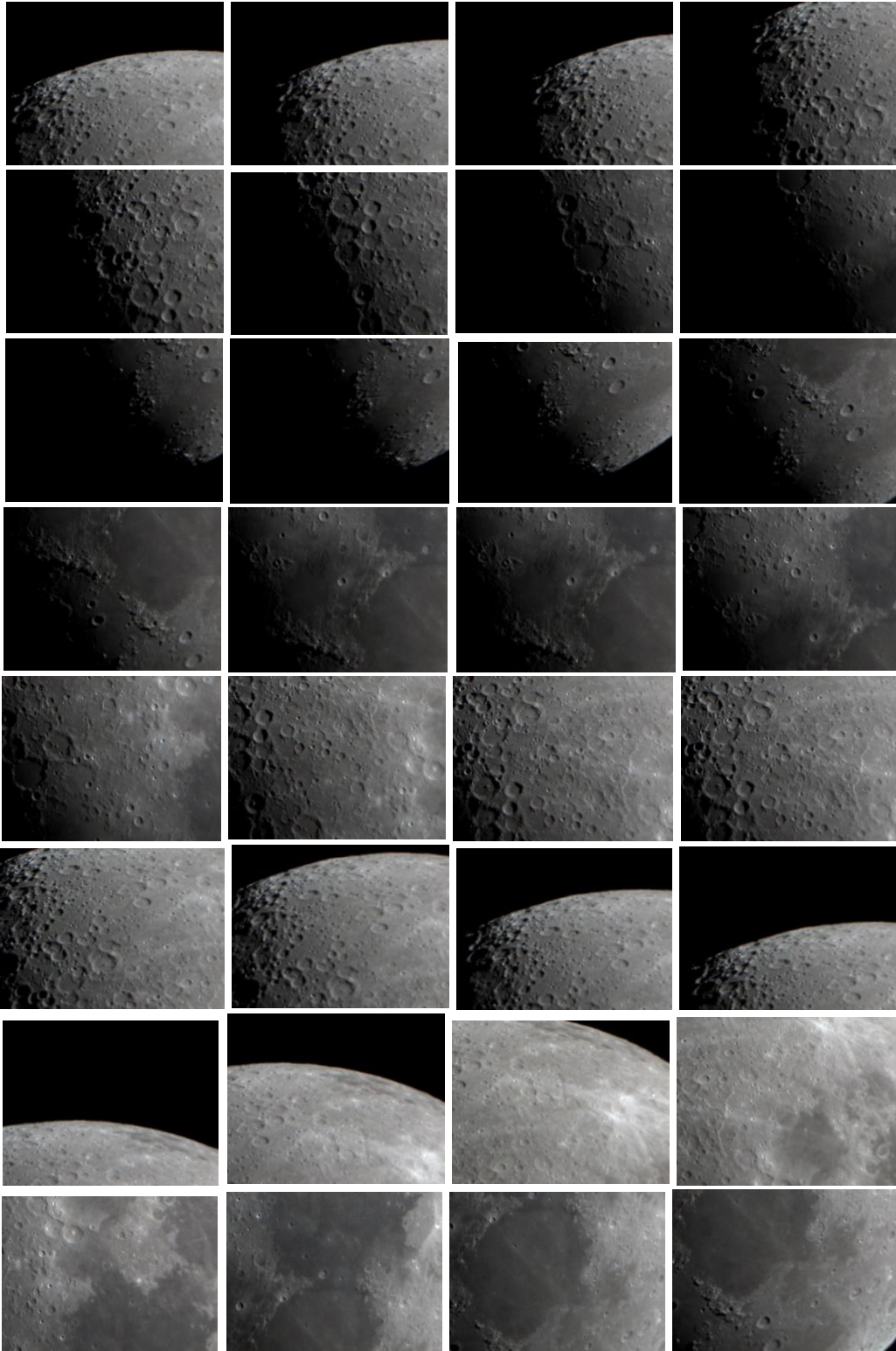
- Llibres:
 - Gran Enciclopedia Catalana. Vol. 14. 2a ed. Barcelona: Enciclopedia Catalana, S.A.; 1994.
 - Gran Enciclopedia Larousse. Vol. 14. Barcelona: Editorial Planeta, S.A.; 1987.
 - Lacroux J, Legrand C. *Descubrir la Luna*. Larousse, 2007.
 - North G. *Guía para observar la luna*. Ediciones Omega, S.A. 1ª ed., 2008.
 - Folies JS. *Observar la Luna*. Ed. Tutor. 2001.
 - Rod Pyle. *Mision: La Luna - La Mayor Aventura de la Humanidad*. Ed. Tikal. 2009.
 - Ros RM. *Sistema Tierra-Luna-Sol: Fases y eclipses*. Publicaciones de NASE. 154-179.
- Webs:
 - Col, Jeananda. Enchanted Learning. 1996. www.enchantedlearning.com
 - Calvin J. Hamilton. Solar Views. 1997-2000. <http://www.solarviews.com>

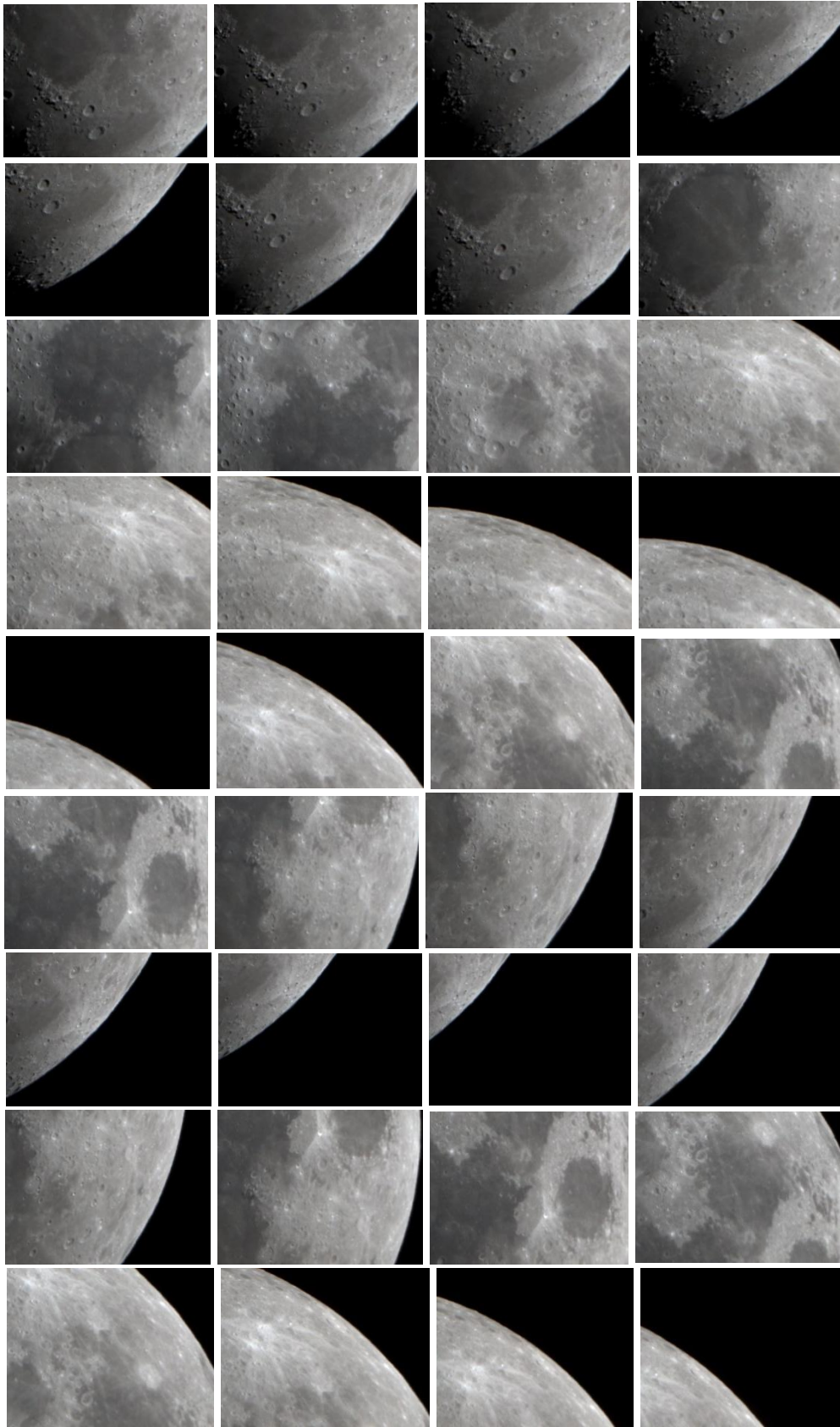
6 ANNEXES

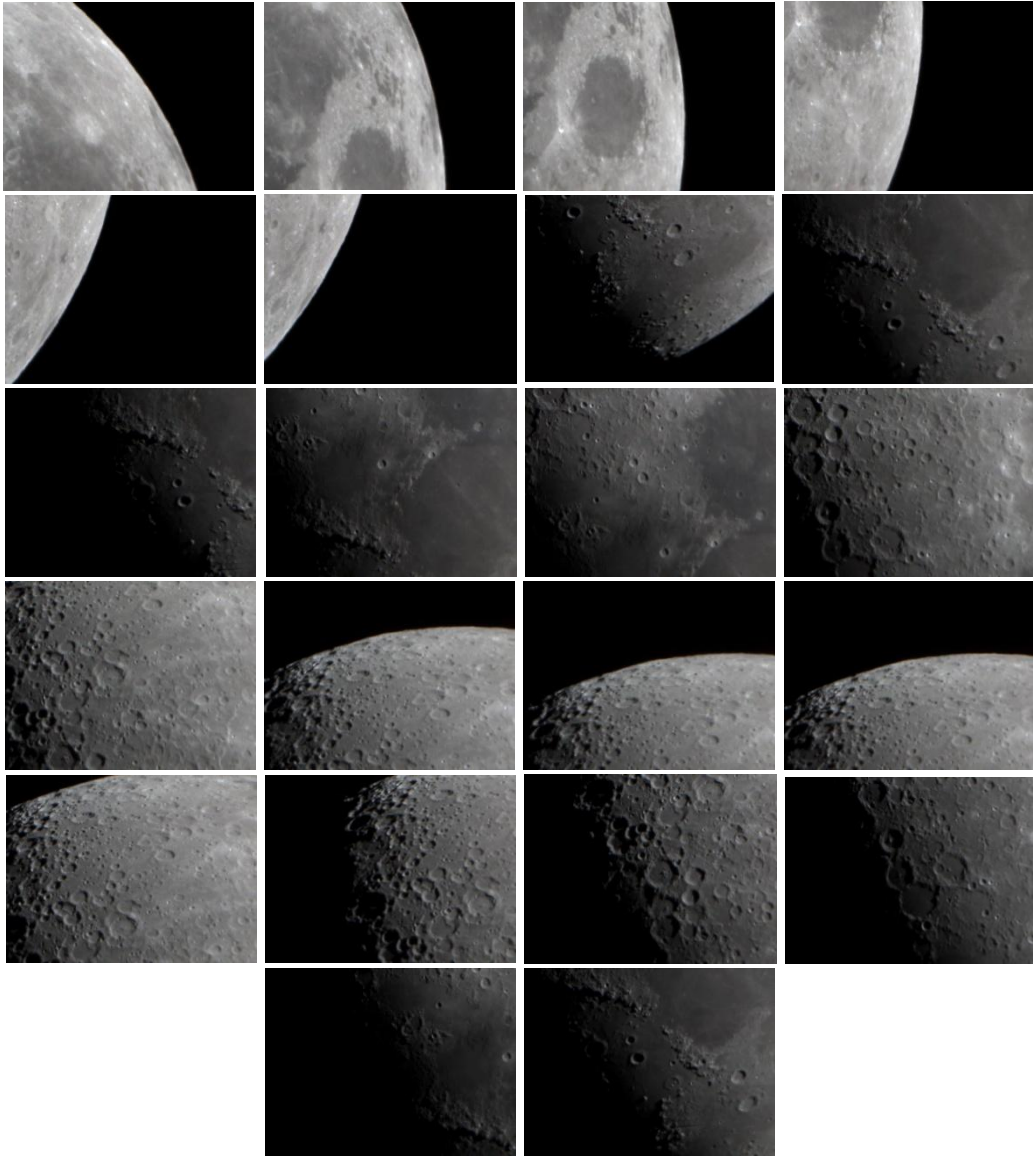
ANNEX I**FOTOGRAFIES DE LA LLUNA**

❖ LLUNA EN QUART CREIXENT. 15 octubre 2010, (19:00 – 23:00h)

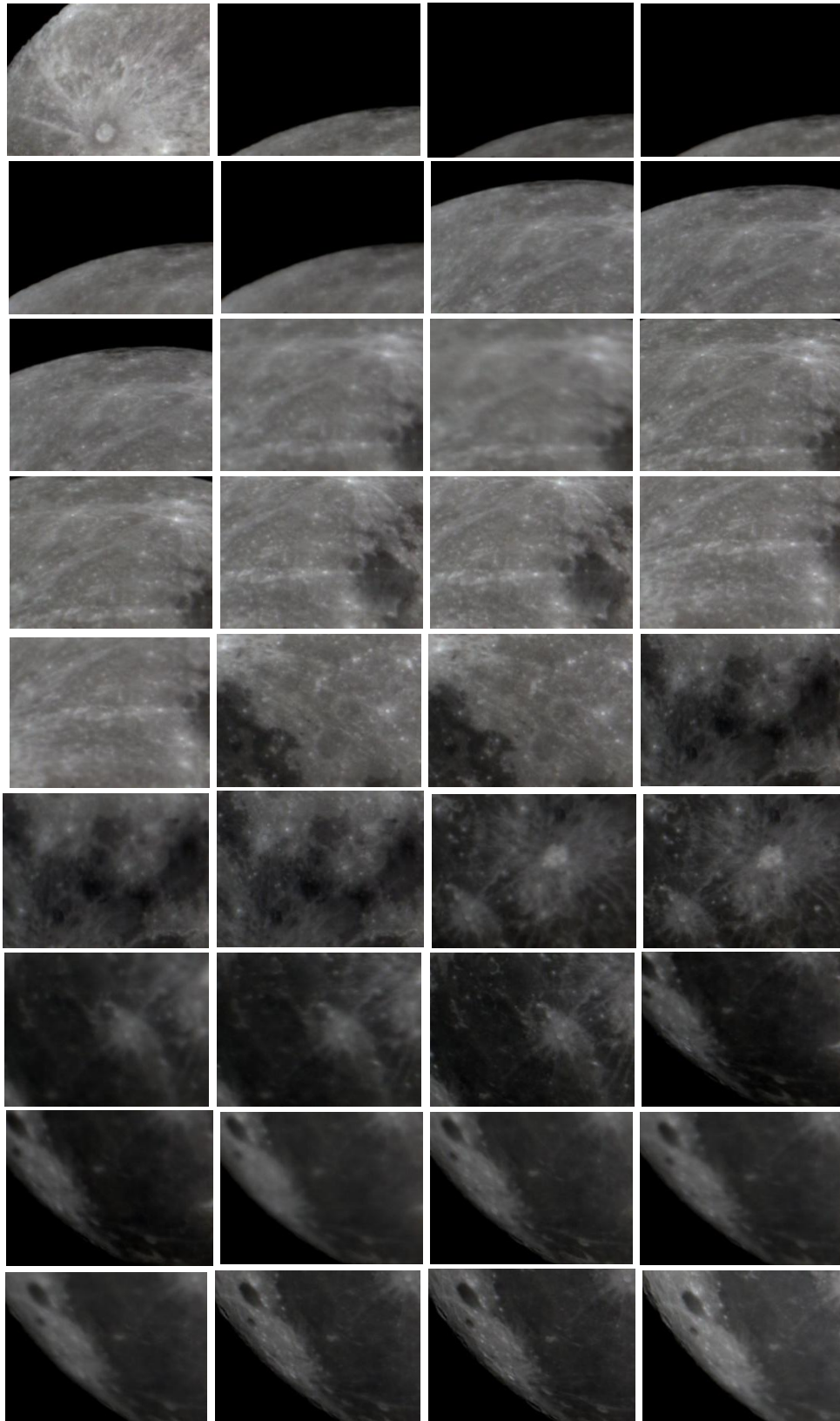
○ Temps d'exposició de 0,0008 i 0,0014 segons. Número de fotogrames 95.

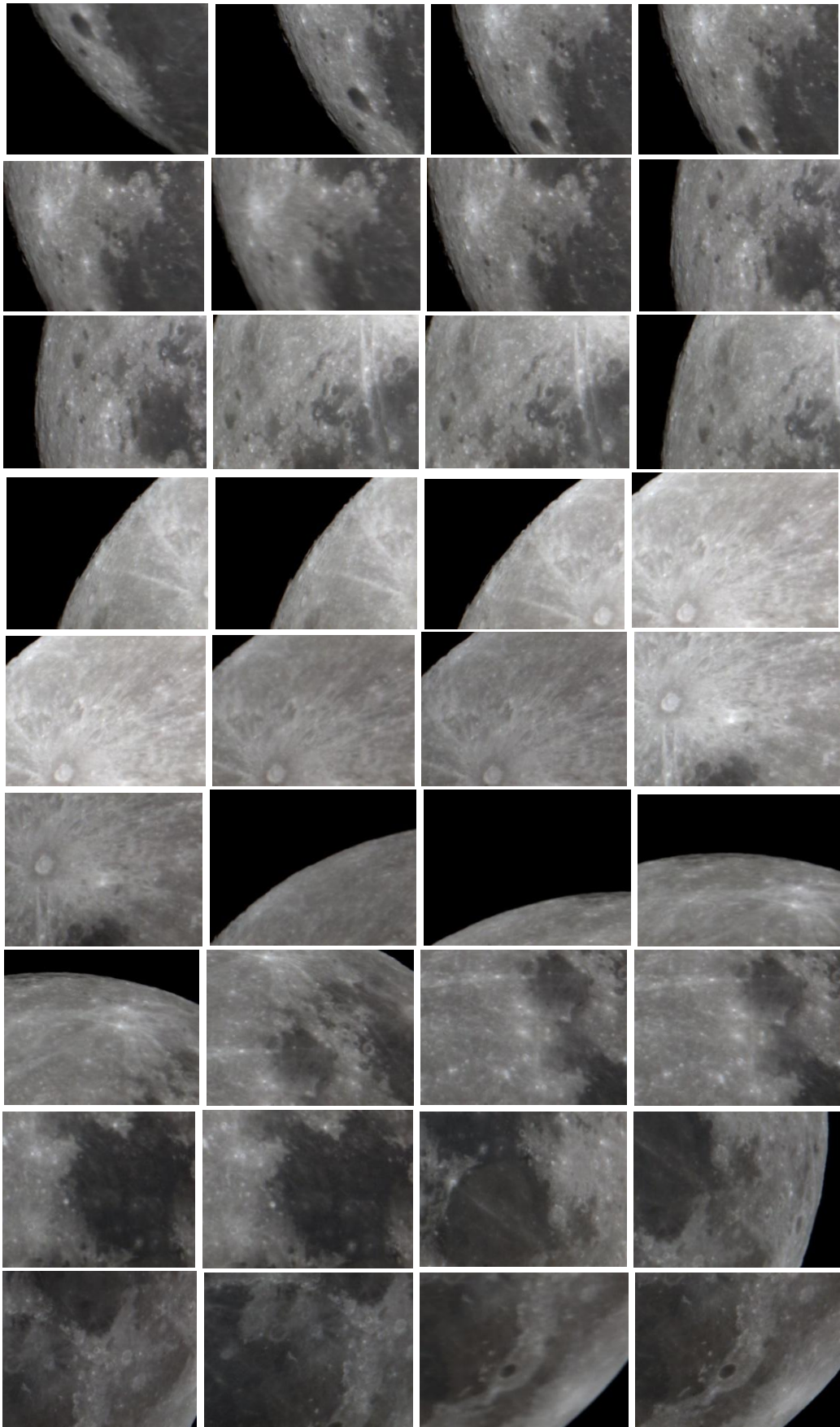


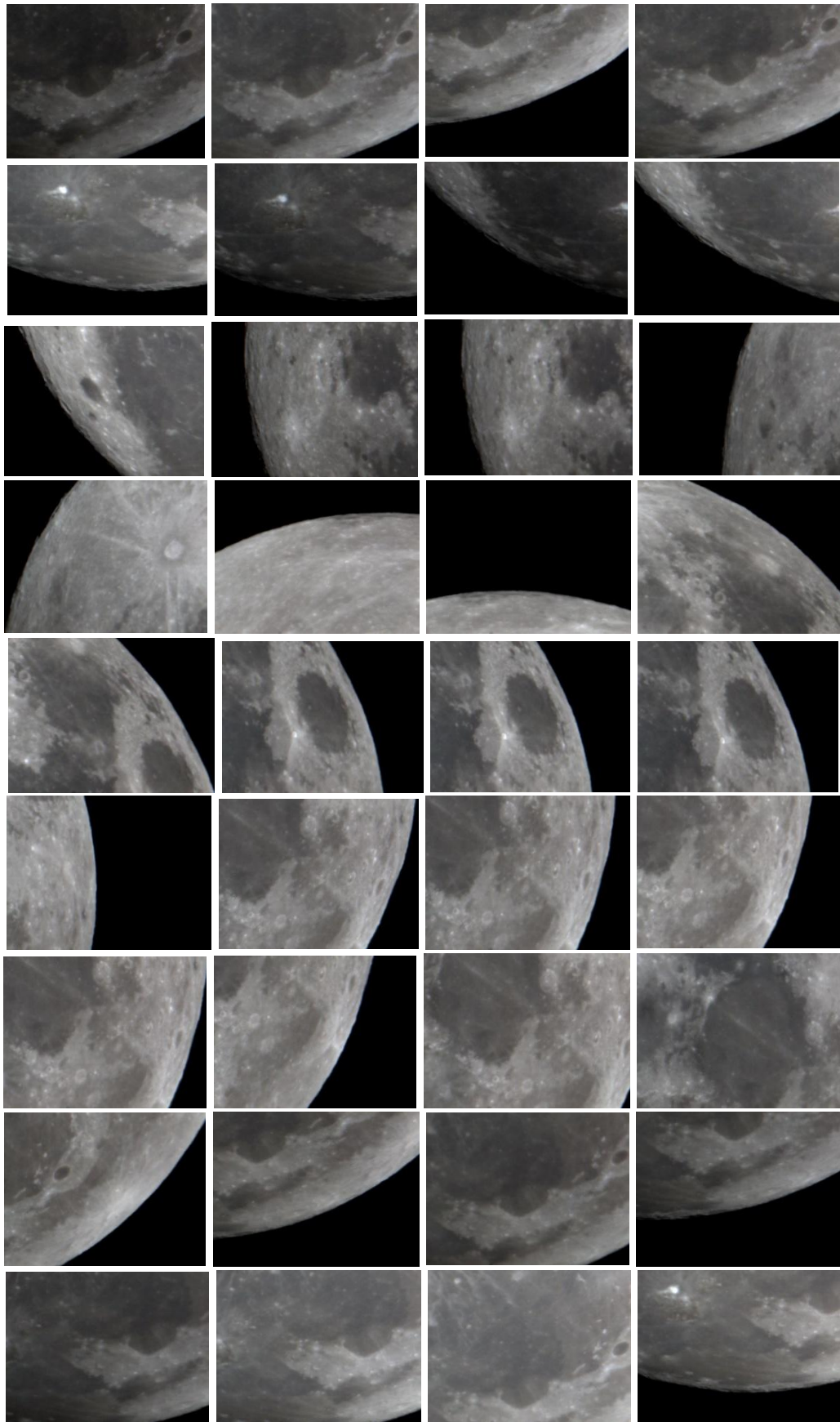


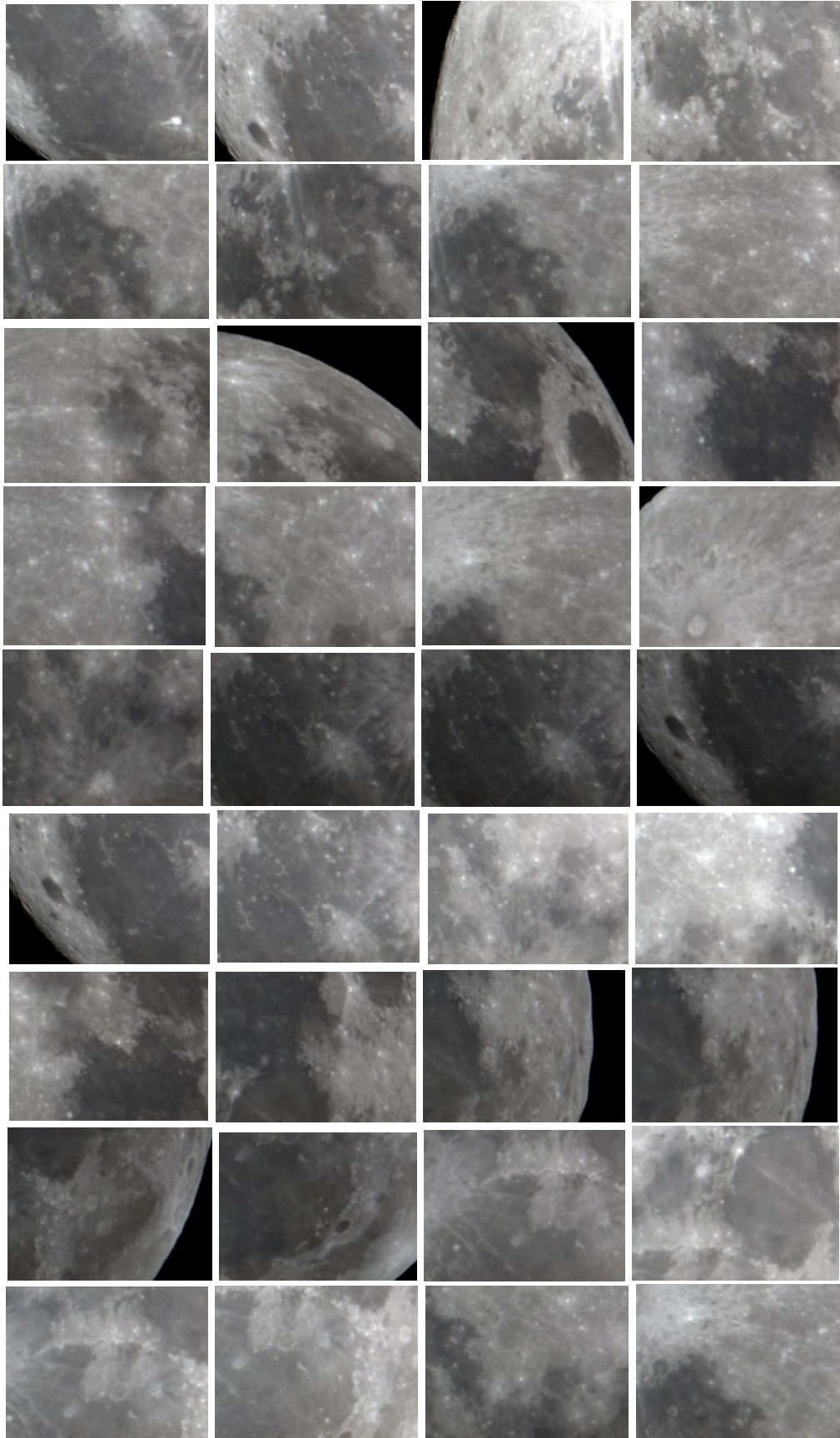


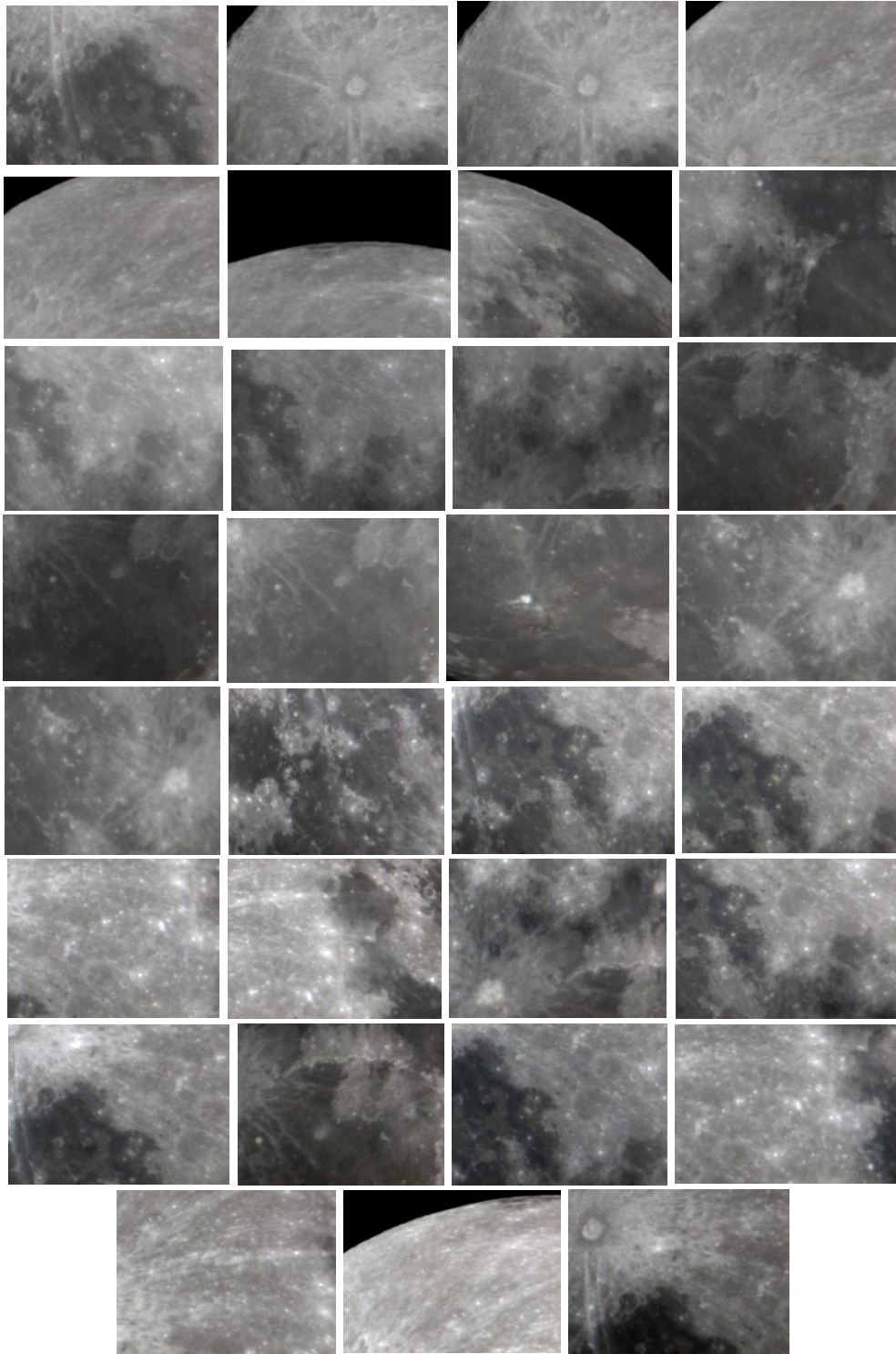
- ❖ LLUNA PLENA. 20 desembre 2010, (19:30 - 21:00h)
 - Temps d'exposició de 0,0057, 0,0081 i 0,0115 segons.
 - Número de fotogrames 175.











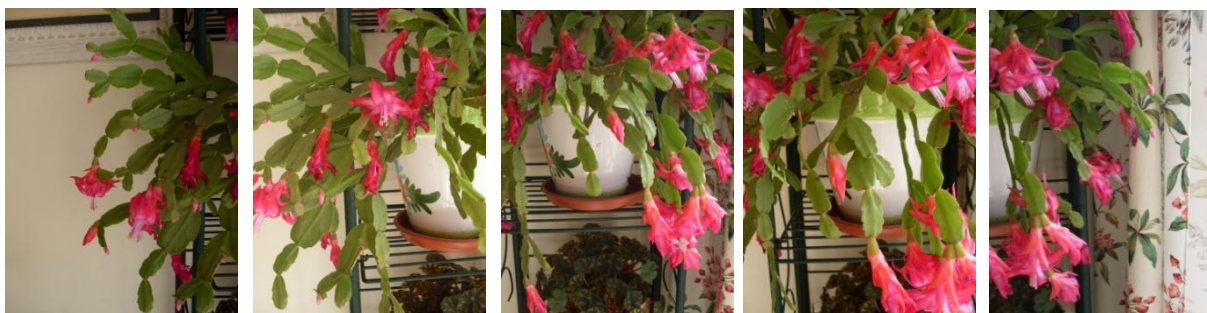
ANNEX II

CONFIGURACIÓ I ÚS DEL PROGRAMARI MICROSOFT ICE (Image Compose Editor)

Microsoft ICE (Image Compose Editor) és un programari que ens ajudarà a unir diverses imatges per crear-n'hi una sola. Una de les coses que més crida l'atenció de ICE és la seva accessibilitat.

El programa té poques funcions i per aquest motiu no provoca intimidació als usuaris poc experimentats. L'únic que hem de fer és posicionar a la finestra del programa les imatges que volem unir i aquest fa la resta, la creació de la imatge panoràmica, és gairebé automàtica.

Podem crear un exemple, utilitzant aquestes imatges (*cactus Schlumbergera, fotos realitzades dia 2 de gener del 2011*). El grup de cinc imatges per separat es veuen així:



Agafant-les totes, el programa les processa, i ens queda la reconstrucció del cactus sencer:



Una vegada s'ha descarregat Microsoft ICE i està instal·lat a l'ordinador, cal realitzar els passos següents:

1. Obrir Microsoft ICE.
2. Extreure de la carpeta les imatges que vulguis utilitzar. (Nota: en cas que les hagi pres amb la teva càmera hauries de disminuir la seva mida, sinó tindrà problemes per processar. Aquestes que utilitzem aquí tenen unes dimensions de 2304x3072.)
3. Arrossegar les imatges, amb el ratolí, fins a la finestra de Microsoft ICE, a partir d'aquí, el programa realitzarà la unió per formar una sola fotografia.

ANNEX III

CONFIGURACIÓ I ÚS DEL PROGRAMARI *3D PHOTO MAKER*

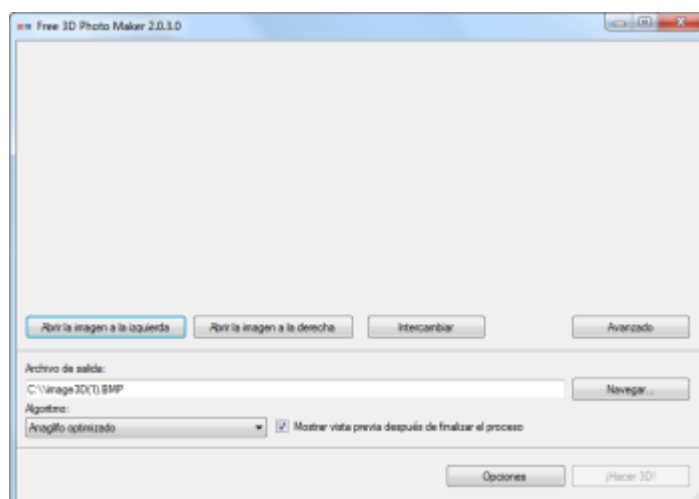
El *3D Photo Maker* és un programa que ens permetrà produir imatges 3D o estereoscòpiques amb tot just dos clics de ratolí. El seu funcionament és molt senzill. N'hi ha prou amb seleccionar una imatge perquè *3D Photo Maker*, d'una manera automàtica, processi la seva estructura generant les capes necessàries, per oferir l'efecte tridimensional.

Seguirem els passos següents:

Pas 1. Descarregar *Free 3D Photo Maker*

Aquest és un programa totalment gratuït, no té spyware ni adware. La seva instal·lació i execució són totalment segurs.

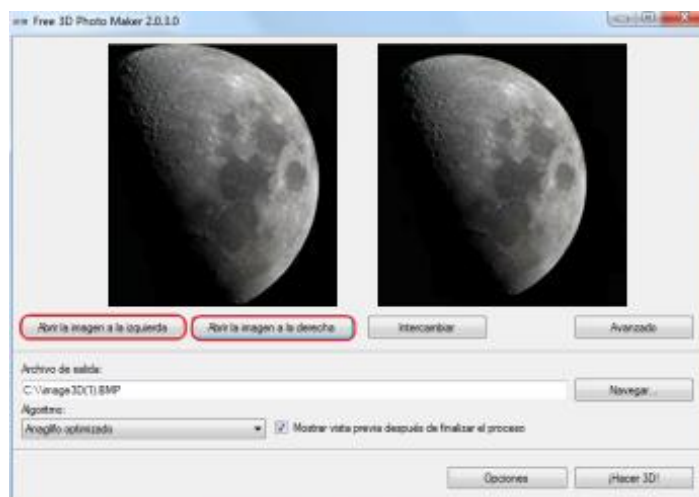
Pas 2. Iniciar *Free 3D Photo Maker*



Per trobar el programa un cop instal·lat, cal anar:

Inici > Tots els programes > DVDVideoSoft > Programs > *Free 3D Photo Maker* o més fàcil, fent un clic a l'accés directe des de l'escriptori.

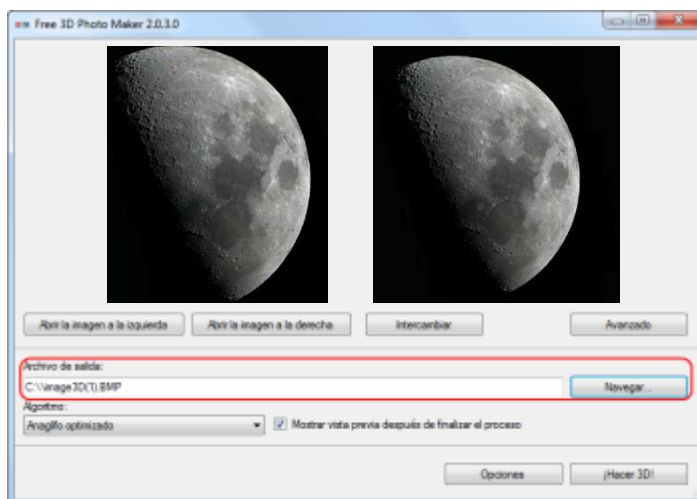
Pas 3. Selecciona arxius d'entrada



Feu clic al botó "Obrir la imatge a la dreta" i després "Obrir la imatge a l'esquerra" per seleccionar arxius d'entrada.

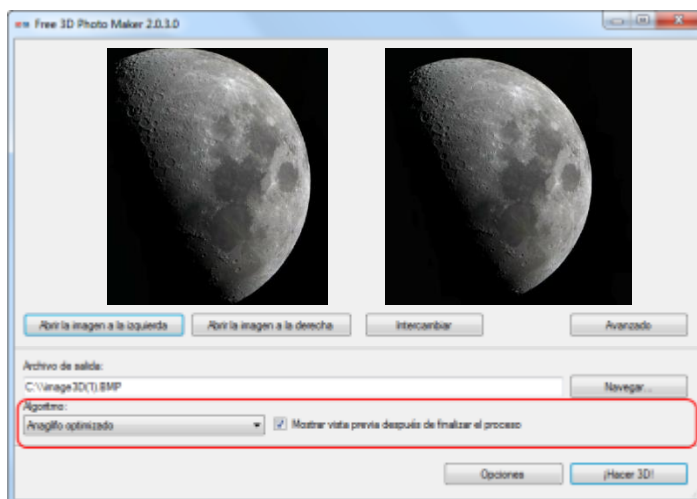
Nota: Per crear imatges 3D és necessari prendre dues fotos d'un objecte immòbil que han estat capturats amb un petit canvi de posició horitzontal. Normalment la distància ha de ser 5-7 mm per tenir una escena pròpia.

Pas 4. Seleccionar la ubicació del fitxer de sortida

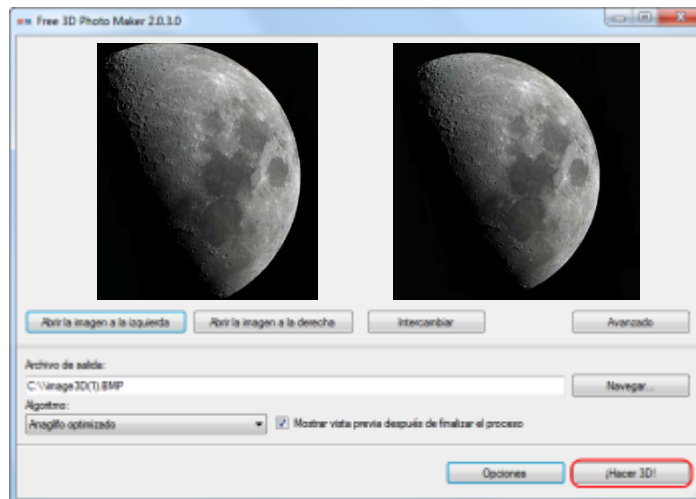


Fes clic al botó Navegar, per triar on vols que es guardin els arxius 3D convertits, seguidament clica a "Desa".

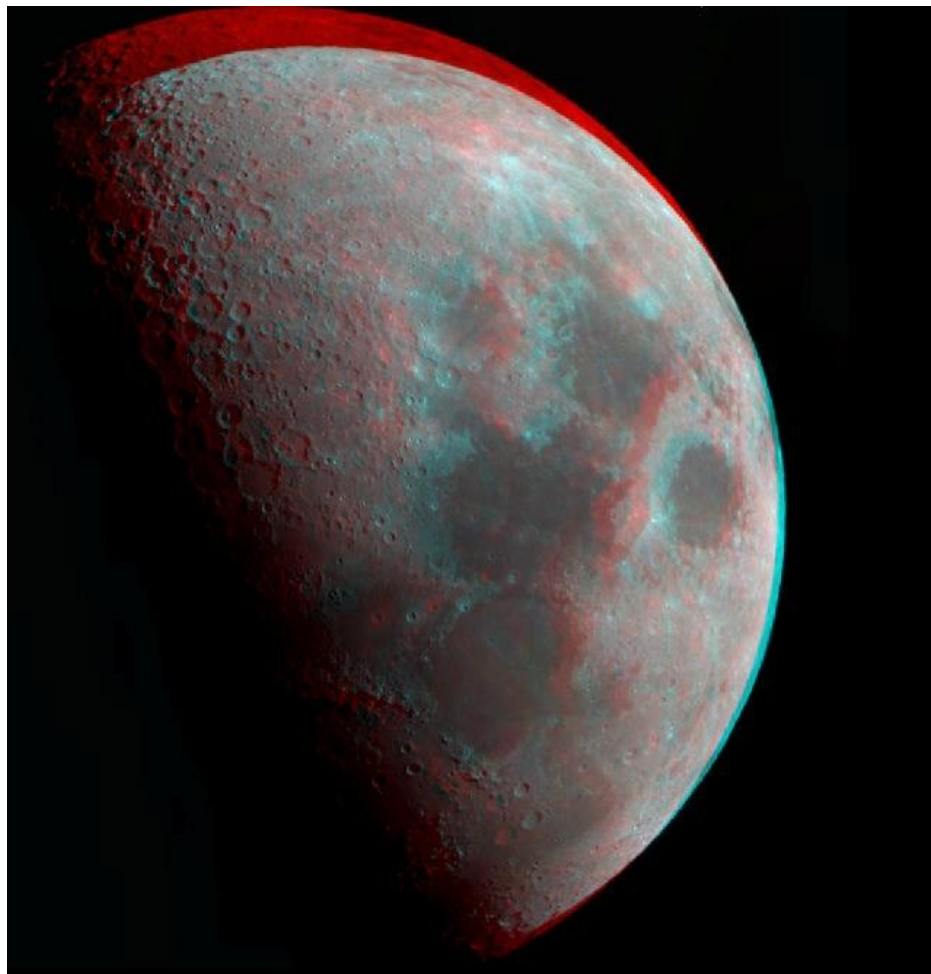
Pas 5. Selecciona l'algorisme



De la llista d'Algorismes s'ha de seleccionar un tipus per crear la imatge 3D. El que s'ha seleccionat en aquest treball per realitzar la imatge és l'algorisme optimitzat.

Pas 6. Fer 3D

Fes clic al botó "Fer 3D" i espera fins que el programa converteix la fotografia.



Posa't les ulleres anàglif per veure millor la imatge!

ANNEX IV**CONSTRUCCIÓ D'ULLERES PER LA VISIÓ 3D**

Per a la correcta visió del mapa lunar en 3D és necessari la utilització d'ulleres especials amb filtres de colors blau i vermell (Veure figura 51). Gràcies a aquestes ulleres es pot observar l'efecte òptic en 3D desitjat per a aquest treball.

Els materials necessaris per a la construcció són:

- ❖ Cartolina mida DIN-A4.
- ❖ Paper de cel·lofana blau.
- ❖ Paper de cel·lofana vermell.
- ❖ Tisores.
- ❖ Cola.

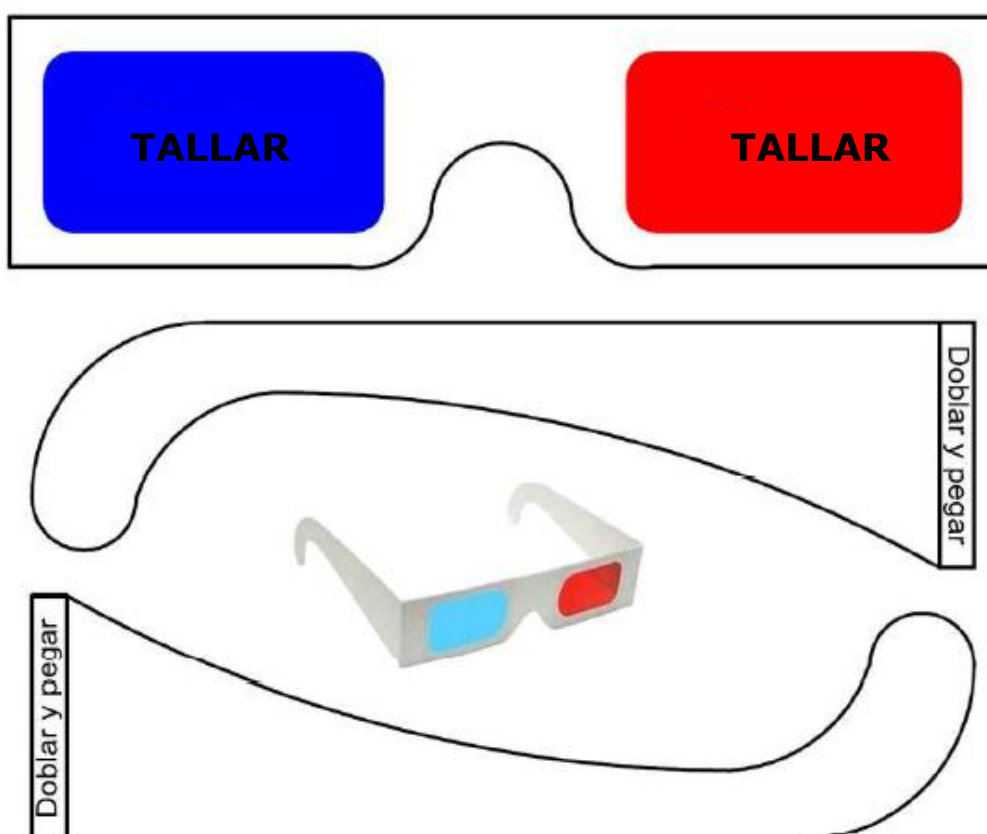


Figura 51: Parts de les ulleres per la visió en 3D de la Lluna.

Per a la construcció de les ulleres és necessari imprimir aquesta pàgina en una cartolina una mica gruixuda de mida A4. Tot seguit retallar les tres peces de les ulleres i la part interior de les ulleres on van els filtres. En els dos forats de les ulleres posar un petit tros de paper de cel·lofana dels colors indicats i enganxar per les vores. Finalment enganxar les dues patilles de les ulleres doblegant pel lloc indicat.

ANNEX V

MUNTATGE D'UNA CAMBRA FOSCA

Aquest annex està destinat a l'explicació del muntatge de la cambra fosca. Amb ella podem obtenir un resultat aproximatiu del diàmetre lunar.

Per crear la cambra fosca és necessari disposar de:

- ❖ Plànols de referència.
- ❖ Una cartolina negra de 65 x 50 cm.
- ❖ Un quadrat de paper vegetal 11'6cm (pantalla de projecció de la imatge).
- ❖ Pega de barra.
- ❖ Tisores.
- ❖ Llapis de marcatge fi.
- ❖ Compàs.
- ❖ Un objecte de punta fina i afilada.
- ❖ Peu de rei digital (precisió $\pm 0'01$ mm).
- ❖ Suport metàl·lic.
- ❖ Cinta mètrica (precisió ± 1 mm).
- ❖ Cinta adhesiva.

PROCEDIMENT DEL MUNTATGE:

1. Tot seguint el plànol i les mesures indicades, cal marcar els dibuixos de les dues capsas, les dues tires i el rectangle petit. Cal utilitzar el regle per les línies rectes i el compàs per les circumferències.
2. Retallar per les línies, per les cantonades i fer-ho amb molta cura. Obtindrem dues capsas rectangulars encara sense muntar, les dues tires rectangulars i l'obertura rectangular.
3. Per tal de muntar-les, caldrà enganxar les pestanyes que sobresurten dels rectangles de forma que quedin dues capsas rectangulars en 3D. Podrem observar que una d'elles té una circumferència en el centre d'un dels extrems, el qual també haurem de retallar i on caldrà enganxar a sobre, l'obertura rectangular per els extrems superior-inferior.
4. Podrem observar que l'altra capsa té 4 pestanyes al voltant del quadrat buit. En aquesta caldrà enganxar el quadrat de paper vegetal de 11,6x11,6 amb les pestanyes que sobresurten (de manera que quedi una pantalla on es projectarà la imatge de la Lluna, D2).
5. Comprovar que les dues capsas es poden superposar i que la capsa amb la pantalla pot lliscar (amb certa facilitat) per dins de l'altra.
6. Per finalitzar, cal que fem forats amb diversos estris afilats amb puntes de diferents diàmetres en cada marca de les dues tires. Aquestes tires s'introduiran per els extrems laterals de l'obertura rectangular enganxada sobre la circumferència de la primera capsa de manera que els raigs de llum solament puguin tenir entrada per l'obertura elegida de les tires.
7. Si es desitja realitzar una mesura més precisa, muntar la cambra a l'extrem d'un suport. Caldrà subjectar-la amb cinta adhesiva, assegurant-se que la capsa amb la pantalla estigui superposada amb l'altra en direcció a nosaltres i que pugui desplaçar-se cap endavant i cap endarrere

ANNEX VI

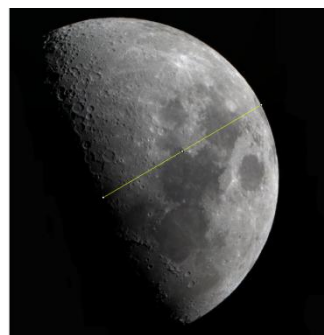
CONFIGURACIÓ I ÚS DEL PROGRAMARI SALSALSA J

El programari Salsa J (Image Processing Software) permet a l'usuari la possibilitat d'analitzar les imatges reals obtingudes en les observacions. Aquest programari les processa donant l'opció de treballar amb elles.

És un programa semblant al programari utilitzat pels astrònoms professionals, però amb un aspecte personalitzat, ja que està enfocat i dissenyat per l'ús escolar.

Aquest programari s'ha utilitzat per calcular l'alçada dels cràters Eudoxus, Franklin i Werner, tot seguint els següents passos:

1. Obrir la fotografia amb el programari Salsa J
2. Fixar l'escala. Per fer-ho, primer mesurarem amb un regle l'amplada de la Lluna, després amb la icona "Selección rectilínea" mesurarem la longitud d'aquesta. Un cop tenim aquesta dada, amb el ratolí ens dirigim a la icona "Fijar escala" amb la finalitat d'establir l'escala.
3. Determinar la longitud de l'ombra del cràter, la distància entre el cràter i el terminador i el radi lunar amb l'eina "Selección rectilínea", amb la qual s'haurà de traçar una línia recta damunt de l'ombra del cràter, des del cràter fins al terminador i des del terminador fins la circumferència externa respectivament.



4. Després amb el ratolí farem un clic damunt l'eina "Analizar". A partir d'aquí s'obrirà una finestra, i buscarem la icona "Medida".

5. Prement la icona "Medida" s'obrirà una subfinestra que ens indicarà en cada moment quines són les dades obtingudes.

Resultados	
Fichero Editar	
	Longitud
1	0.071
2	2.209
3	9.270

6. Després de seguir els passos anteriors, només caldrà crear una taula per anotar els resultats.

ANNEX VII

CONFIGURACIÓ I ÚS DEL PROGRAMARI AUTOCAD 2008

L'AUTOCAD és una eina professional completa pensada pel disseny i creació de plans, mapes, esquemes i dissenys gràfics en dos i tres dimensions. Actualment l'AUTOCAD és un referent al camp del disseny assistit per ordinador, utilitzat tant per arquitectes, enginyers com per la indústria i dissenyadors en general.

L'AUTOCAD fa possible la creació d'esquemes molt senzills o dissenys complicats, utilitzant el ratolí i les diferents pestanyes amb els seus accessoris de la finestra principal.

Aquest programari ha estat utilitzat per calcular el diàmetre dels cràters Eudoxus, Hèrcules, Posidonius i Macrobius. Els passos a seguir per la seva utilització són els següents:

1. Obrir el fotograma seleccionat amb el programari AUTOCAD 2008.
2. Marcar tres punts prement la icona "Arc" amb la qual cosa quedarà definit l'arc de la Lluna.
3. Un cop tenim l'arc, situarem el cursor a l'ordre "List", i obtindrem el radi aparent de la Lluna en unitats de mesura (u)*.
4. Finalitzada aquesta acció, calcularem el radi aparent del cràter en unitats de mesura (u) introduint l'ordre "Arc" i designant el punt inicial i final del radi del cràter.



5. Quan ja disposem del radi aparent tant del cràter com de la lluna, caldrà calcular per proporcionalitat, el radi real del cràter (en km).
6. Per acabar, calcularem l'error de mesura.

