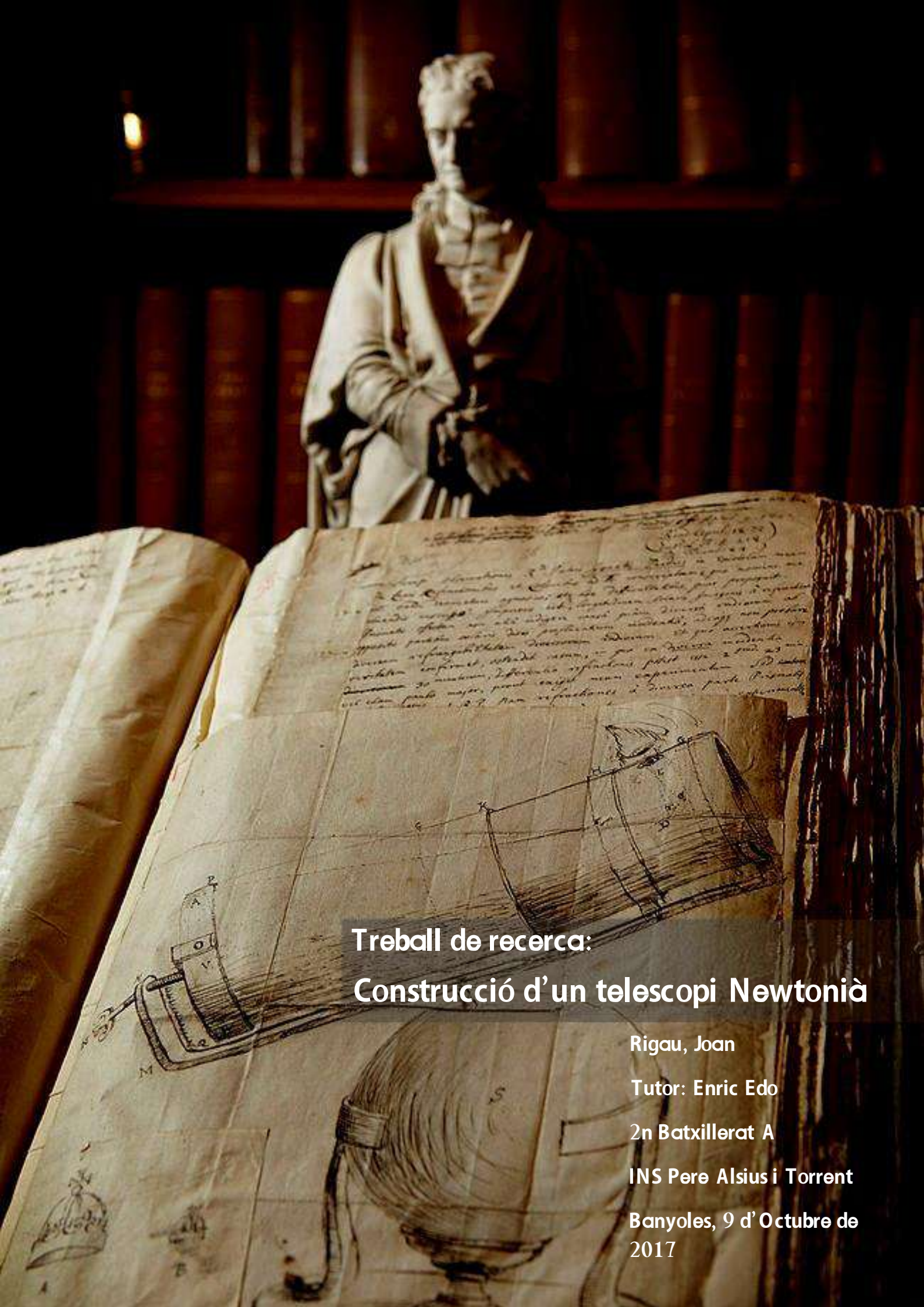




Treball de recerca: Construcció d'un telescopi Newtonià

Rigau, Joan

Tutor: Enric Edo

2n Batxillerat A

INS Pere Alsius i Torrent

Banyoles, 9 d'Octubre de
2017

Índex

1.-Introducció	pàg 4
2.-Història i introducció a l'Òptica	pàg 5
2.1.-La propagació de la llum	pàg 8
2.2.-Naturalesa de la llum	pàg 10
2.3.-Òptica quàntica	pàg 15
3.-Lents	pàg 15
3.1.-Fabricació de lents	pàg 18
4.-Miralls	pàg 20
4.1.-Fabricació de miralls	pàg 21
5.-El telescopi	pàg 22
6.-Tipus de telescopis	pàg 24
6.1.-El telescopi refractor	pàg 24
6.1.1.-Telescopi de Galileu Galilei	pàg 26
6.1.2.-Telescopi de Johannes Kepler	pàg 27
6.2.-El telescopi reflector	pàg 27
6.2.1.-Telescopi d'Isaac Newton	pàg 28
6.2.2.-Telescopi de James Gregory	pàg 29
6.2.3.-Telescopi de Laurent Cassergrain	pàg 30
6.2.4.-Telescopi de Ritchey-Chrétien (RCT)	pàg 31
7.-Part pràctica	pàg 32
7.1.-Procediment seguit	pàg 32
7.2.-Cost del projecte i hores empleades	pàg 37
7.3.-Que és la col·limació i com es fa?	Pàg 38
8.-Conclusions	pàg 39
9.-Bibliografia	pàg 40
10.-Índex d'il·lustracions	pàg 42
11.-Annexos	pàg 45
Annex I	pàg 46
Annex II	pàg 47
Annex III	pàg 48
Annex IV	pàg 49
Annex V	pàg 50
Annex VI	pàg 51

Agraïments i dedicatòria del treball

M'agradaria agrair la realització d'aquest treball de recerca i dedicar-lo a varies persones que m'han ajudat a dur-lo a terme. En primer lloc al meu pare Isidre Rigau Salvatella que m'ha orientat en la construcció del telescopi i també m'ha proporcionat molts llibres i informació. En segon lloc a l'Edu Casadevall ja que em va a ensenyar a dissenyar peces en 3D que han estat molt necessàries. I per acabar als mestres del Casa Nostra i del Pere Alsius i Torrent perquè m'han donat les eines i els coneixements per arribar fins on sóc ara.

Primer de tot, vaig veure la Lluna tan a prop com si estigues a una distància de dos semidiàmetres de la Terra. Després de la Lluna, vaig observar freqüentment altres cossos celestes com estrelles fixes com planetes, amb un delit increïble.

Galileu Galilei.

1. Introducció i objectius

Quan vaig començar batxillerat no sabia cap a on conduir el meu treball de recerca, pensava que quedava molt lluny encara. El treball de recerca de batxillerat sempre m'havia causat respecte i fins i tot por.

Vaig anar a demanar consell a la tutora que tenia llavors i em va dir que podia enfocar el meu treball cap al camp de la òptica i fer un telescopi. Vaig considerar que podia fer un bon treball i quedar-ne satisfet. També em va fer decidir el fet que el meu pare és òptic optometrista i que ell em podria ajudar. Una altra raó que em va fer triar aquest tema és que quan acabi batxillerat vull fer la carrera d'òptica i optometria, com el meu pare, i aquest tema em va motivar molt.

Al començar el treball, em vaig plantejar dos objectius. Assolir uns coneixements més amplis d'òptica que els que tenia i construir un telescopi reflector des de zero.

Quan vaig començar, vaig consultar algunes webs d'òptica, alguns llibres d'òptica i vaig buscar projectes semblants al meu per YouTube, cosa que em va ajudar a fer-me un esquema mental de com construir el meu telescopi. I vaig triar el model de Newton pel fet que no hi ha tantes lents com els altres i el muntatge no és tan complicat.

Quan vaig començar em vaig establir dos objectius, familiaritzar-me amb l'àmbit de l'òptica i poder construir un telescopi Newtonià tot i que sabia que era molt difícil.

2.-Història i introducció a l'Òptica:

L'òptica és una ciència, una branca de la física que s'encarrega de l'estudi de **la llum** sota tres aspectes:

- **La propagació de la llum** a través de diferents medis transparents existents com el vidre, el plàstic, l'aigua, l'aire,... La part de l'òptica que estudia aquest aspecte rep el nom d'**òptica Geomètrica** ja que es considera que els rajos lluminosos es propaguen rectilíniament.
- **La naturalesa de la llum** i els fenòmens que es produeixen quan es relaciona amb la matèria. Aquests fenòmens són els següents: Reflexió, Refracció, Dispersió, Difracció,... La part de l'òptica que estudia aquest aspecte rep el nom d'**òptica Física**.
- Les **interaccions entre la llum i les partícules atòmiques**. Aquesta part de l'òptica rep el nom d'**òptica Quàntica**.

Tenint en compte aquest tres aspectes podem dir que l'òptica estudia els àmbits macroscòpic, microscòpic i atòmic de la llum.

Que és la llum? La llum és l'energia electromagnètica que emeten els cossos quan s'exciten els seus àtoms o grups d'àtoms. La que emeten determinats dispositius elèctrics, es diu energia radiant. La llum s'interpreta de maneres diferents però generalment com a ones o partícules (corpuscles). La propagació de l'energia radiant es pot descriure amb les lleis geomètriques que són molt generals, independentment de la longitud d'ona o la intensitat.

Podríem dir que l'òptica és una de les branques més antigues de la física, coneguda com a ciència de la llum, que comença quan l'home intenta explicar el fenomen de la visió considerant-lo com una facultat pròpia de relacionar-se amb el món exterior.

Per les civilitzacions antigues, la percepció visual dels objectes requeria alguna cosa que enllacés l'ànima humana amb l'objecte vist, i és així com, segons Leucip (450a.C), sosté que la visió es produeix perquè els objectes emeten "imatges", ombres o simulacions materials que revestien els objectes i que es desprenien d'aquests i entraven pels ulls i arribaven a l'ànima humana on es percebien les formes, colors,...

Segons escrits d'Apuley (430-365a.C), els filòsofs pitagòrics sostenien que la visió es produïa gràcies al "foc invisible", que sortia dels ulls i anava a tocar i a explotar els objectes i en aquest moment, els objectes manifestaven la seva forma i color.

Euclides, cap a l'any 300a.C, basant-se en la teoria dels pitagòrics i els seus coneixements matemàtics, dona a les preguntes relacionades al comportament de la llum un nou rumb introduint raonaments de tipus geomètric. En els seus postulats hi apareix el concepte de raig, propagació rectilínia,...

Fins tres segles després no hi va haver cap avenç notable en òptica. Va ser l'àrab Alhazen de Basora (950-1039) que va dir que la llum procedia dels objectes, és a dir, que la llum del sol anava als objectes i després als ulls, que es comportava com un projectil, i, basant-se en les

lleis del xoc elàstic va obtenir la llei de la reflexió que va aplicar a l'estudi de la formació d'imatges en els miralls.

A finals del segle XVI i principis del XVII comença a haver-hi una gran activitat en el camp de l'òptica. En aquesta època es va generalitzar l'ús de les lents i els miralls. Cosa que va donar gran impuls a la obra del napolità Giovanni Battista della Porta, que va idear i construir la càmera fosca (Font 1); que anys més tard va portar a la càmera fotogràfica, i la llanterna màgica coneguda avui dia com a projector. En aquest període es generalitza l'us dels instruments òptics després de les invencions (coulers, "ulleres", telecopis,...) de Keppler (1571-1630) , Galileu (1565-1642) i altres erudits de l'època.

El 1621 l'holandès Snell descobreix experimentalment la llei de la refracció , encara que no es coneix mundialment fins que el 1638 Descartes publica el llibre "Òptica" on hi apareixen les lleis de la reflexió i refracció sobre la base que la llum es comporta com un projectil.

Per Newton la llum estava constituïda per partícules materials que llençades a gran velocitat pels emissors, es propagaven en línia recta formant raigs de llum. Els colors que fins llavors es creia que eren conseqüència de que la llum blanca es contaminava al travessar o xocar amb objectes de color,

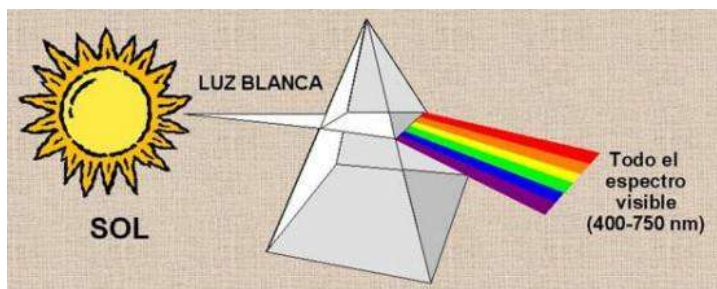


Fig2:Descomposició de la llum blanca

[/http://www.profesorenlinea.cl/fisica/Luzdescomposic.htm](http://www.profesorenlinea.cl/fisica/Luzdescomposic.htm)

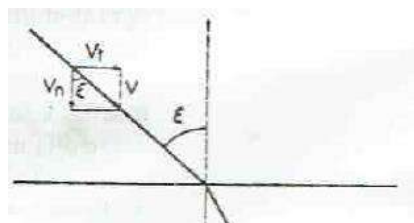


Fig3: Diagrama de la refracció/ Llibre "OPTICA" de Justiniano Casas

a la superfície de separació augmentant així la seva velocitat normal, mentre que la component tangencial quedava inalterada. Cosa que el va conduir a la relació de Descartes:

$$\sin E / \sin E' = v' / v = \text{ctg} E$$

Però això implicava que la llum en el medi més dens havia de tenir més velocitat.

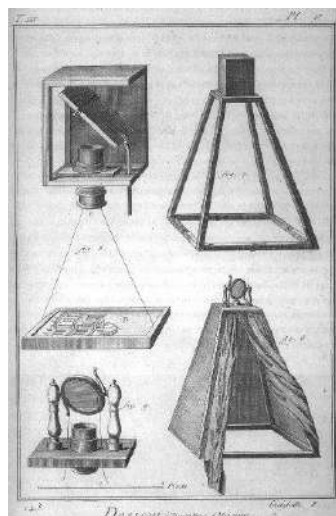


Fig1: Il·lustració de la camera fosca/

https://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A1mara_oscura#/media/File:Camera_obscura.jpg

van ser interpretats per Newton després de descobrir la dispersió del prisma. Per ell, la llum blanca era el conjunt de llums simples de diferents colors, i aquests eren conseqüència de que les partícules de llum corresponents a cada color tenien una massa diferent.

També va explicar la refracció, suposant que les partícules eren atretes cap

Aquesta contradicció amb el sentit comú no va tenir gaire transcendència tot i que les lleis de la refracció pel que fa a les direccions de la llum es complien d'acord amb les experiències al laboratori i no es va desmentir, tot i que el danès Ole Christensen Rømer va mesurar la velocitat de la llum a partir de l'ocultació dels satèl·lits de Júpiter, fins que el 1849, el francès Michel Foucault, pel mètode del mirall giratori, va mesurar en un laboratori la velocitat de la llum demostrant que aquesta era menor en els cossos més densos.

L'holandès Christiaan Huygens, va proposar el "model ondulatori de la llum. Per ell, la llum era un fenomen ondulatori de tipus mecànic, com el so, que es propagava d'una manera molt particular: L'èter, un tipus de fluid hipotètic imparable que ho emplenava tot, fins i tot el buit, per on la llum també es propagava.

Com que Newton era més important que Huygens en el món de la física, la teoria ondulatoria no va tenir èxit fins a principis del segle XIX que l'anglès Thomas Young va explicar les interferències i va mesurar per primer cop les longituds d'ona corresponents als diferents colors de la llum

La teoria ondulatoria estava plena de contradiccions en els seus principis bàsics. El 1864, l'anglès James Clerk Maxwell va confirmar-la quan va descobrir que la llum no era una ona mecànica sinó que era una ona electromagnètica, donant origen a la teoria electromagnètica de la llum que va ser confirmada experimentalment el 1888 per Heinrich Rudolf Hertz.

L'estudi d'altres fenòmens lumínics com la radiació del cos negre, l'efecte fotoelèctric i altres espectres atòmics, van demostrar la impotència del model ondulatori per explicar-los. El 1900 Max Planck va formular una llei matemàtica de la radiació del cos negre suposant que la llum no es emesa de manera continua, sinó en paquets (quants) discrets d'energia. La teoria quàntica de Planck va servir a Albert Einstein el 1905 per explicar l'efecte fotoelèctric gràcies als quants de llum, fotons. El 1912 Neils Bohr, va ampliar les condicions de quantificació explicant l'àtom d'hidrogen i Compton va explicar el 1922 l'efecte que porta el seu nom. L'efecte Compton diu que quan un fotó xoca amb un electró perd part de la seva energia i augmenta així la longitud d'ona.

Va aparèixer una incomoditat al veure que la llum es comporta com una ona electromagnètica en fenòmens macroscòpics de propagació i com a partícules (corpuscle) en els fenòmens microfísics d'emissió, absorció i interacció amb els àtoms.

Aquest dubte es va resoldre el 1925 admetent una idea original de De Broglie, que va suposar que el moviment d'un corpuscle ve regit per una ona. La confirmació experimental d'aquesta suposició va donar lloc a una nova branca de la física, la Mecànica Quàntica.

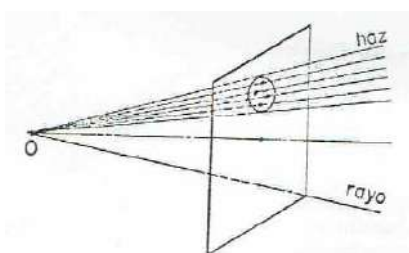
Actualment, l'Òptica, amb els últims progressos i les connexions establertes amb altres ciències té molts camps de treball oberts. Com la determinació d'estructures aplicant els mètodes direccionals a raigs X, electrons i neutrons. O l'emmagatzematge i transmissió per senyals lluminoses fonamentalment en xarxes cristal·lines com la fibra òptica.

I en les fonts de llum s'ha arribat a invencions tan espectaculars com el "làser" que facilitat l'estudi en l'òptica ordinària i la no lineal.

2.1.-La propagació de la llum:

L'òptica geomètrica s'ocupa només de qüestions relacionades amb la propagació de la llum. El seu objectiu principal és determinar les trajectòries de l'energia radiant a través de diferents medis, de manera que la propagació s'ajusti a determinades trajectòries, aconseguint que tot un grup de rajos es concentrin en un punt, com passa en els casos de focalització. Es basa en els conceptes de raig lluminós per caracteritzar a la llum i el d'índex de refracció per caracteritzar els medis materials. D'aquesta manera l'òptica geomètrica és una geometria pura que es basa en un únic postulat físic: El principi de Fermat.

Raig lluminós: Les trajectòries de l'energia radiant en la seva propagació constitueixen els rajos de llum. Geomètricament, si un punt emissor, O, el posem davant d'una pantalla opaca amb un forat, el punt O i el forat determinaran un con ple de llum que rep el nom de feix (*haz*).



Si les dimensions del forat són petites, el con de llum es diu pinzell. Si fem que el diàmetre del forat tendeixi a zero, arribarem a un feix sense realitat física; aquesta abstracció ideal constitueix el raig de llum.

Fig4:Diagrama d'un feix de llum/ Llibre
"Optica" de Justiniano Casas

Per l'òptica geomètrica, tant el feix com el pinzell no són considerats com a tubs de llum ni com a flux energètic, sinó que són considerats com el conjunt de tots els seus rajos definits pel punt emissor i cada un dels punts de l'orifici o de la superfície de l'element que travessen.

Índex de refracció: L'energia radiant que es propaga en el buit amb una velocitat, c , invariable, que segons els últims estudis és de 299793.0 Km/s. La velocitat en els medis materials, v , varia segons la constitució d'aquest i cada medi està caracteritzat des del punt de vista òptic per un nombre escalar, n , que rep el nom d'índex de refracció. És a dir que l'índex de refracció depèn de la velocitat de la llum al buit i de la velocitat de la llum en aquest material.

$$n=c/v$$

Quan la velocitat de la llum en un medi és igual en tots els punts i en totes les direccions, el medi es diu homogeni i isòtrop i el seu índex de refracció serà constant; si varia amb la direcció, rep el nom d'antisòtrop, i si varia en la velocitat i l'índex de refracció no és igual en tots els punts del material, es tractarà d'un medi heterogeni.

Exemples:

Els vidres òptics són homogenis i isòtrops, en canvi l'atmosfera terrestre és heterogènia ja que el seu índex varia segons l'altura.

Altres conceptes importants dins l'òptica geomètrica:

Dispersió cromàtica: Com se sap, la llum blanca és un conglomerat de llums monocromàtics de diferent color, cada una de les quals es caracteritza des del punt de vista ondulatori per la seva longitud d'ona. La velocitat de les llums monocromàtiques en un medi material varia amb la seva longitud d'ona i amb això el seu índex de refracció. Aquest fenomen rep el nom de dispersió cromàtica i quan es diu que un medi té un índex de refracció n , s'entén que es per una llum d'una longitud d'ona determinada. L'únic medi que no és dispersiu és el buit, tot i que pràcticament també ho són els gasos a molt baixes pressions.

Camí òptic: Si en un medi homogeni d'índex n la llum recorre un trajecte de longitud s , es defineix com a camí òptic, (L)

$$(L)=ns$$

Si aquesta trajectòria travessa diferents medis d'índexs n_i , recorrent en cada un d'ells longituds s_i , el camí òptic serà:

$$(L)=n_1s_1+n_2s_2+n_3s_3+....+=\sum n_is_i$$

Principi de Fermat:

Aquest principi afirma, que la trajectòria real que segueix un raig de llum entre dos punts és aquella en la que emplea un temps mínim a fer-la

Aquest principi estableix que quan la llum es desplaça d'un punt a un altre ho fa pel camí més curt. En un medi homogeni i isòtrop la trajectòria de la llum és rectilínia però en un medi heterogeni la trajectòria no ho és (Font 5).

Que un camí sigui més ràpid que un altre depen de la velocitat de propagació del medi i del seu índex de refracció.

Si el temps que tarda la llum a anar de A a B és "t", la velocitat de propagació de la llum en el medi és "v" i els dos punts estan separats una distància de "r": $r=vt$

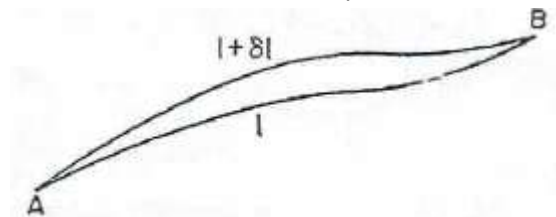


Fig 5: Diagrama del principi de Fermat/ Llibre "Optica" de Justiniano Casas

2.2.-Naturalesa de la llum:

A finals del segle XIX es sabia que la velocitat de la llum en l'aigua era menor que la velocitat de la llum en l'aire. El 1864, Maxwell va obtenir una sèrie d'equacions fonamentals de l'electromagnetisme i va predir l'existència d'ones electromagnètiques. Maxwell va suposar que la llum representava una petita part de l'espectre d'ones electromagnètiques (Font 6) i Hertz ho va confirmar experimentalment.

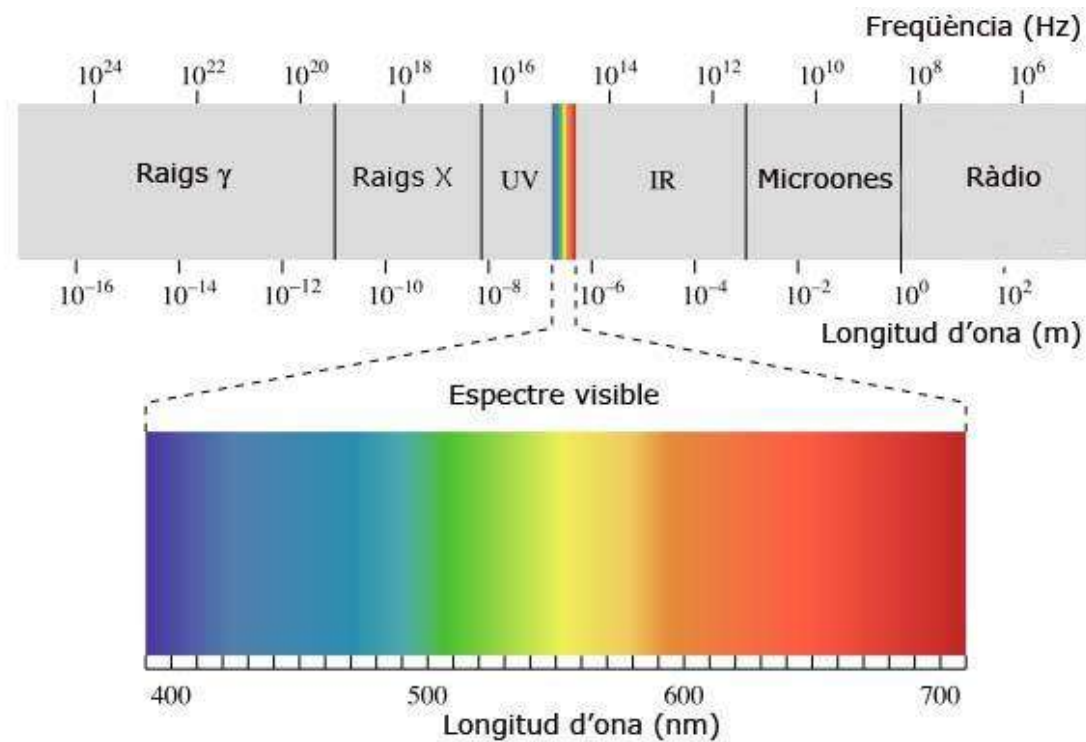


Fig 6:Espectre de la llum/ <http://cienciaentretots.blogspot.com.es/p/3.html>

L'estudi d'altres fenòmens com la radiació del cos negre, l'efecte fotoelèctric i els espectres atòmics va posar de manifest la impotència de la teoria ondulatoria. El 1905, Einstein va explicar l'efecte fotoelèctric per mitjà de corpuscles de llum que ell va batejar com a fotons. Bohr va explicar l'espectre d'emissió de l'àtom d'hidrogen utilitzant fotons i Còpton va explicar l'efecte que porta el seu nom gràcies a la teoria corpuscular de la llum.

En cap dels casos hem de dir que els dos models són incompatibles, es tracta de dos aspectes diferents de la mateixa qüestió que no s'han de tractar a part sinó que es complementen.

Quan la llum es relaciona amb la matèria es produeixen una sèrie de fenòmens:

Refracció:

Es pot dir que la llum travessa l'espai en línia recta. És cert que els avenços recents de la física han demostrat que això no és estrictament exacte, però pels problemes òptics ordinaris es pot donar per correcta l'afirmació que la llum va en línia recta. Tot i això, si un raig de llum troba un cos en el seu camí per l'espai poden passar tres coses. Algunes substàncies absorbeixen la llum que incideix en elles, reben el nom d'opakes. Altres com la superfície dels miralls, reflecteix la llum (en parlarem més endavant) i altres, com el vidre que es coneixen com a transparents, permeten que la llum passi a través d'elles. A l'espai, la llum manté una velocitat constant d'uns 300000 km/s, però quan travessa una substància transparent, troba una resistència i la seva velocitat baixa.

En aquest cas si un feix de llum penetra en un cos transparent perpendicularment a la seva superfície el seu avanç per la substància s'endarrerirà (Fig 7).

Explicació de la Fig 7: On s'observa esquematitzat el pas de la llum a través d'una placa de vidre. Quan el feix de llum incideix sobre un cristall amb costats paral·lels, pateix un retràs continu i sense alterar la seva trajectòria en travessar la placa

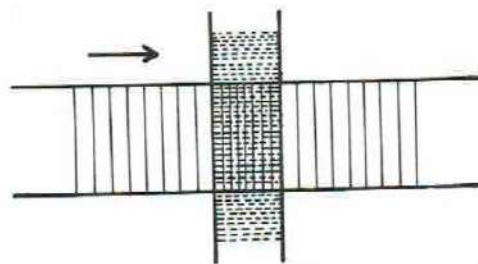


Fig7: Diagrama de la refracció de la llum incident perpendicularment/ Llibre "REFRACCIÓN teoría y práctica" de Duke-Elder/

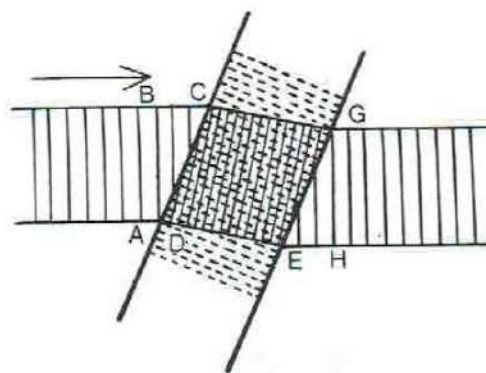


Fig8: Diagrama de la refracció de la llum incident obliquament/ Llibre "REFRACCIÓN teoría y práctica" de Duke-Elder/

Per altra banda si el feix de llum travessa el cos obliquament una part del feix penetrarà en el cos abans que l'altre i s'endarrerirà més aviat que l'altre part de feix. En la posició AB, el raig penetrant comença a trobar la resistència del cos transparent a A, i a la zona següent de la seva trajectòria, la part inferior de raig que està dins del cos viatjarà necessàriament més lentament que la que pot estar fora i encara no ha estat obstaculitzada. Les distàncies recorregudes en un mateix temps són desiguals, AD és menor que BC i, en conseqüència, la part anterior del raig varia bruscament canviant de direcció. Aquest fenomen de desviació de la llum al passar d'un medi transparent a un altre de densitat diferent es diu refracció (Fig8).

Explicació de la Fig 8: On s'observa esquematitzat la refracció de la llum a través d'una placa de vidre. Quan un feix de llum incideix obliquament a la placa, la porció que penetra primer en A troba una resistència. Per tant el feix de llum es desvia durant el seu trajecte AD, BC. Després d'arribar a la posició DC, viatja com un feix paral·lel, a través del material de la placa. A EF té lloc el procés contrari, que comprèn una quantitat igual de refracció, amb el resultat que a GH el feix viatja a la mateixa direcció que abans però amb una trajectòria desplaçada.

Que el raig de llum es desviï més o menys depèn de tres factors. En primer lloc, com la desviació depèn de l'endarreriment de la llum, com més gran sigui la resistència que oposa el cos més lentament es desplaçarà la llum per dins el cos, i, com a conseqüència, el raig es desviarà. La propietat d'oposar resistència a la llum rep el nom de densitat òptica, i varia depèn de la composició del cos que travessa la llum. Com que la llum sol viatjar a través de l'aire és considerat el medi universal. El poder de refracció d'una substància en comparació amb el de l'aire rep el nom d'índex de refracció. L'aire té un índex de refracció de 1, l'aigua de 1,33, el vidre de 1,5,...L'índex de refracció es calcula a partir de la relació de l'angle d'incidència (angle "i" Fig 10) amb l'angle de refracció (angle "r" Fig 10). Sabem que $\sin i / \sin r$ és constant per tots els angles d'incidència, i aquest factor constatat és l'índex de refracció quan el raig de llum passa de l'aire a un altre material. Degut a aquesta relació, es dedueix que un segon factor que afecta a la desviació és l'angle amb el que els raigs incideixen sobre la superfície entre els dos medis. Com més oblic sigui, major serà la desviació.

La llum pot manipular-se considerablement per medi de la refracció perquè en lloc de seguir un recorregut normal en línies rectes definides es dirigeixi per vies determinades. La funció essencial de tots els sistemes òptics és variar la trajectòria dels rajos de llum de les seves direccions originals indiscriminades allà on es vol.

Índices de refracció. (Línea D de Fraunhofer.)	
Vidrio crown, flúor	1,4785
borosilicato	1,5087
duro	1,5155
cinc	1,5149
bario — ligero	1,5407
medio	1,5744
denso	1,5881
Vidrio flint, extra ligero	
bario ligero	1,5515
denso	1,6182
extra denso	1,6469

Fig9:Taula d'índexs de refracció del vidre/ Llibre "REFRACCIÓN teoría y práctica" de Duke-Elder

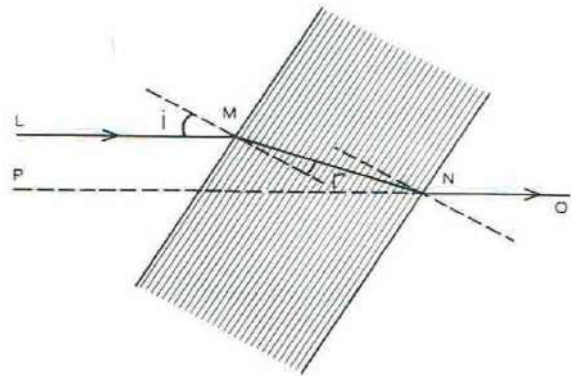


Fig10:Diagrama de la refracció de la llum/ Llibre "REFRACCIÓN teoría y práctica" de Duke-Elder

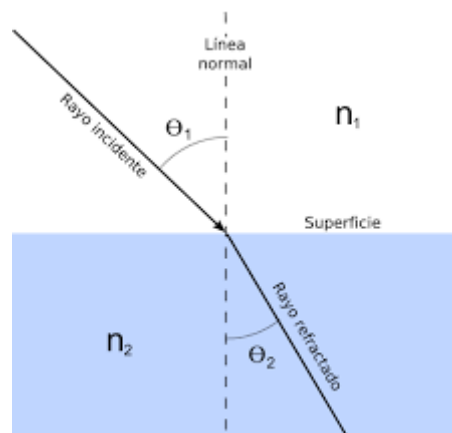


Fig11:Diagrama de l'angle de refracció de la llum /<http://cs-fs-primero.blogspot.com.es/2015/06/refraccio>

Reflexió:

La reflexió és el canvi de la direcció sobtat de propagació d'una ona en topar amb una superfície reflectant com per exemple un mirall o l'aigua (tot i que no és totalment reflectant) i en el cas de la reflexió d'una ona sonora una paret (eco). La llei de la reflexió diu que per una reflexió especular, l'angle en que l'ona incideix a la superfície on es reflexa l'ona és el mateix angle en que es reflexa. Sempre s'ha de tenir en compte que el raig incident, el reflectit i la normal estan en el mateix pla, que és perpendicular a la superfície reflectora. La llum, en la reflexió, sempre es propaga en línia recta, es reflexa quan arriba a qualsevol superfície que sigui reflectant i canvia de direcció en el moment que passa d'un medi a l'altre.

Hi ha dos tipus de reflexió, la reflexió especular i la difusa:

La reflexió especular: És el tipus de reflexió que es produeix quan la llum topa amb una superfície reflectant llisa, que fa que els raigs que es reflexin siguin perpendiculars als incidents i paral·lels entre si. Aquesta reflexió té lloc en un mirall (Figura 12)

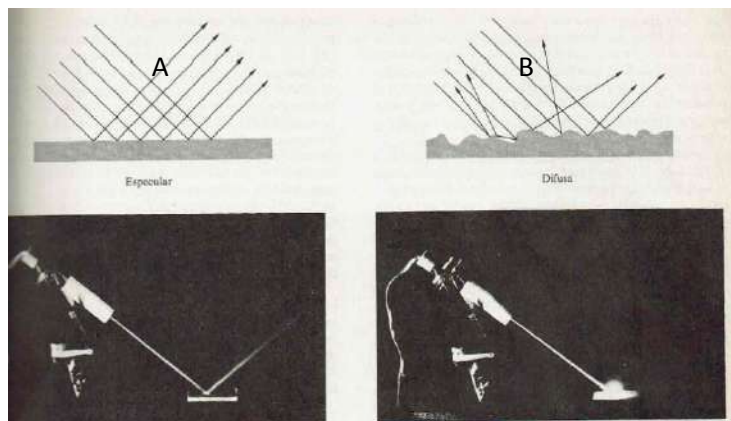
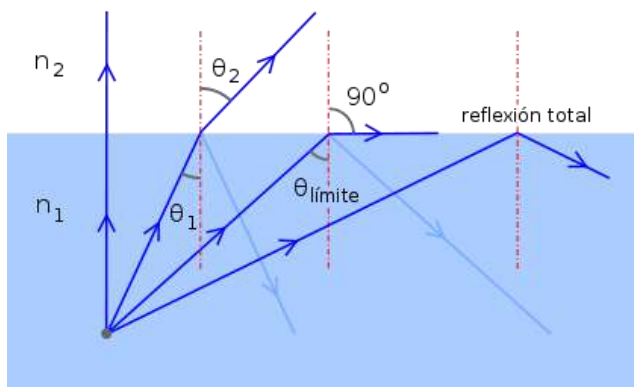


Fig12: Diagrama de la reflexió especular i difusa/
Llibre "Optica" de Hecht-Zajac

La reflexió difusa: És el tipus de reflexió que té lloc quan la imatge no es conserva, tot i que la llum es reflecteix totalment. Quan això té lloc, els raigs reflectats no resulten perpendiculars als incidents i no són paral·lels entre si, ja que la superfície reflectant té irregularitats. Per tant el que es veu és una il·luminació de la superfície (Figura 12B).



Depenent de l'angle d'incidència de la llum sobre una superfície, una part del raig de llum sortirà refractada i l'altra reflectida, o totalment reflectida o refractada, sempre i quan aquest angle sigui major o menor que l'angle crític respectivament.

Fig13: Diagrama de l'angle límit/
https://ca.wikipedia.org/wiki/Llei_de_Snell

Difusió:

És el fenomen que es produeix quan la llum passa per un medi heterogeni o quan es reflexa en una superfície irregular i es dispersa. Per exemple quan la llum travessa la boira o qualsevol dispersió col·loïdal, aquesta es difon en forma d'un raig dispers.



Fig14: Raig de llum travessant una dispersió col·loïdal/http://images.slideplayer.es/18/5891657/slides/slide_8.jpg

Difracció:

És la desviació de la trajectoria de la llum quan toca la vora d'una superfície, com ara el diafragma d'una camera, la pupil·la,... Una demostració d'aquest fenomen és que no veiem les ombres perfilades al detall sinó que les vores són borroses.

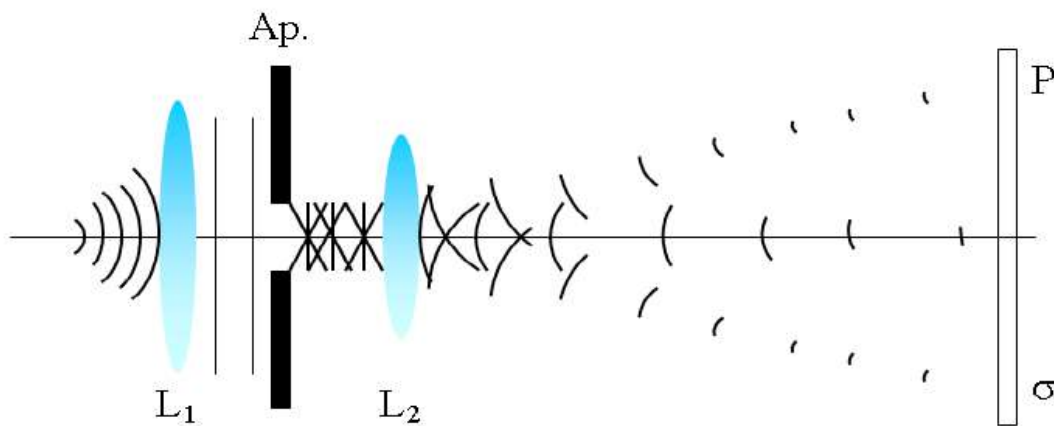


Fig15: Diagrama de la difracció / Wikipedia

El principi de la fotografia afirma que la dispersió és menor en un diafragma més petit. Per exemple quan pintem amb esprai hi ha partícules que es dispersen. Si el forat per on surt la pintura fos molt petit, aquesta sortiria com a un únic raig sense partícules disperses.

2.3.-Òptica quàntica:

L'òptica quàntica s'encarrega de l'estudi dels fotons, que són les partícules elementals responsables de les manifestacions quàntiques del fenomen electromagnètic. Aquesta partícula porta radiació electromagnètica, incloent-hi la llum.

Per tal de demostrar la presència d'aquestes partícules elementals, Albert Einstein va fer un experiment amb el qual va obtenir el premi Nobel tot i que molts físics com Herz o Thomson l'havien fet abans.

Aquest experiment consisteix en dirigir un raig electromagnètic lluminós a un metall. Einstein va observar que saltaven electrons d'aquest metall. Cosa que demostra la presència d'aquests corpuscles anomenats fotons.

3.-Lents:

Una lent òptica és qualsevol entitat transparent capaç de desviar els raigs de llum. Normalment són de vidre o de plàstic i solen desviar la llum per refracció tot i que les lents de Fresnel ho fan per difracció.

Les lents es fan servir per corregir problemes de visió amb les ulleres i les lents de contacte però també per observar cossos molt llunyans, amb un telescopi, o cossos molt petits, amb un microscopi.

Hi ha diferents tipus de lents, les convergents i les divergents.

Les lents convergents són les que fan que tota la llum que passa a través seu convergeixi en un mateix punt anomenat focus.

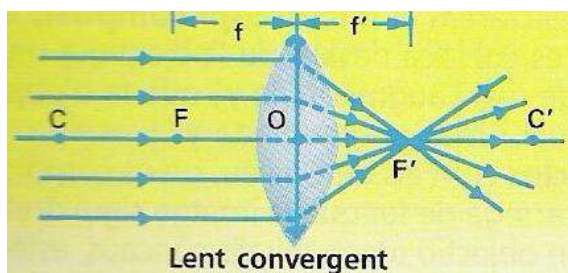


Fig16: Funcionament d'una lent convergent
[/http://www.xtec.cat/~jcamps15/projecteuill/lents/lents.htm](http://www.xtec.cat/~jcamps15/projecteuill/lents/lents.htm)

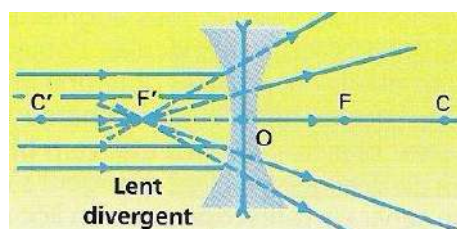


Fig17: Funcionament d'una lent divergent/
<http://www.xtec.cat/~jcamps15/projecteuill/lents/lents.htm>

Les lents divergents fan tot el contrari. Separen la llum que les travessa. Els raigs que la travessen es tallen virtualment al focus de la banda d'on provenen els raigs.

Les lents més comunes són les lents esfèriques, reben aquest nom perquè es poden representar gràficament a partir d'esferes

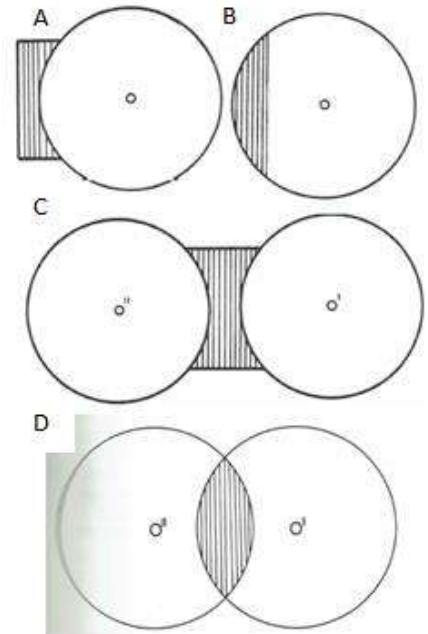
Representació de la formació gràfica de les lents esfèriques:

A: Formació de lents còncaves. Lent planocòncava, resultat de l'aproximació d'una esfera i una superfície plana

B: Formació de lents convexes. Una lent planoconvexa per intersecció d'una esfera per una superfície plana.

C: Formació de lents còncaves. Pot considerar-se lent bicòncava la que es forma per l'aproximació de dues esferes amb centres O'' i O'

D: Formació de lents convexes. Una lent biconvexa pot considerar-se com a formada pel la intersecció de dues esferes amb centres O'' i O' .



Depenent de la concavitat de les seves cares les diferents lents esfèriques reben un nom o un altre:

- 1.- Lent biconvexa, amb ambdós costats convexos
- 2.- Lent bicòncava, amb ambdós costats còncaus
- 3.- Lent planoconvexa, amb un costat pla i l'altre còncau
- 4.- Lent planoconvexa, amb un costat pla i l'altre convex
- 5.- Lents menisc

Menisc convex: Forma de menisc amb la curvatura major convexa

Menisc còncau: Forma de menisc amb la curvatura major còncava

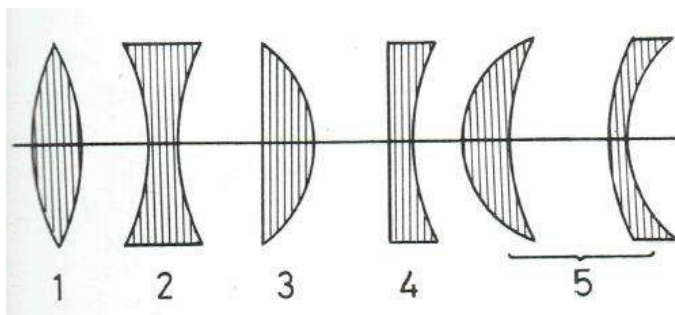


Fig19: Tipus de lents esfèriques/ Llibre "REFRACCIÓN teoria y pràctica" de Duke-Elder.

Fig18: Diagrama de la concavitat de lents

/ REFRACCIÓN teoria y pràctica de Duke-Elder

Per tal de saber la mida de la imatge (y'), a la distància que es troba de la lent (s') i la seva orientació podem fer ús d'una fórmula. Tenint en compte que " s " és la distància que hi ha entre l'objecte i la lent, " y " és la mida de l'objecte, " c " és el centre òptic que és igual al radi de la lent i que " f " és el focus que és igual a la meitat del radi

$$1/s' - 1/s = 1/f'$$

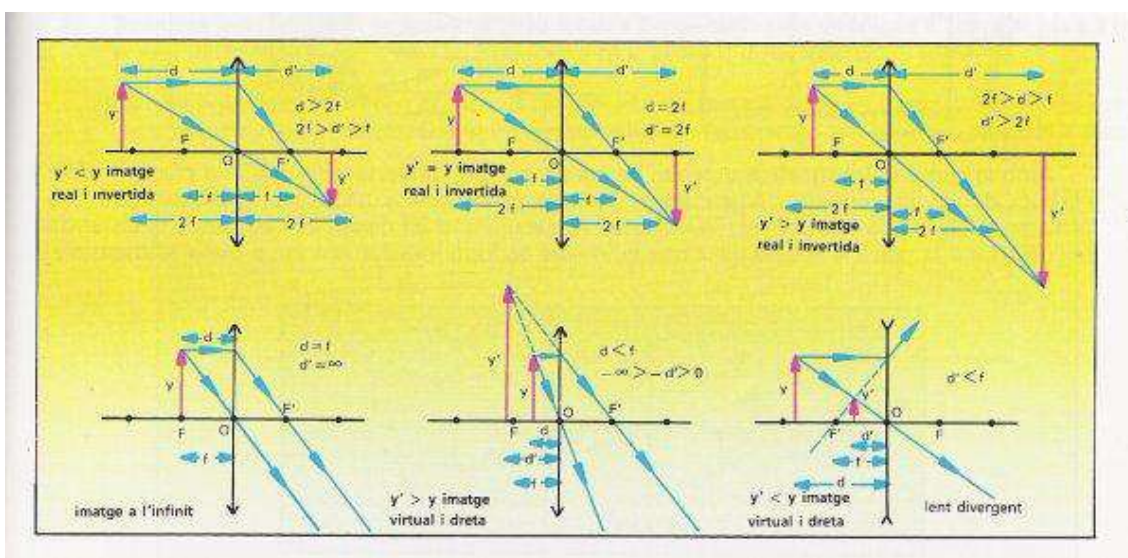


Fig 20: Diagrama de formació d'imatges en lents segons la posició de l'objecte/

<http://www.xtec.cat/~jcamps15/projecteuill/lents/lents.htm>

3.1- Fabricació de lents:

Fa un segle no existia cap procediment específic per la fabricació de vidres òptics. Els metges utilitzaven el vidre de finestra solapat que era imperfecte, heterogeni i tenia color.

Tampoc existia cap estructura industrial capaç de respondre a una demanda cada cop més important. Va ser aleshores quan els grans vidriers van instal·lar progressivament estructures de fabricació especialitzades.

A França la companyia Saint-Gobain i la societat de miralls de Bussois van prendre el control de les grans vidrieries i van començar a fer esbossos per poder fer vidres òptics de qualitat.

La primera etapa tecnològica important va començar el 1914 amb la invenció d'un forn continu amb estirat vertical per la fabricació de fulls de vidre

Durant la Segona Guerra mundial es va paralitzar la indústria del vidre a Europa. El relleu va ser pels Estats Units per Corning Glass Works, que va inventar un forn continu revolucionari on el material refractari estava constituït en gran part per platí.

Aquest forn permetia obtenir vidre de qualitat perfecta per l'òptica de precisió i l'òptica ocular. A més, l'automatització de les etapes d'elaboració del vidre va permetre realitzar una producció contínua a gran escala i a baix cost.

Procés de fabricació de lents partint d'un bloc:

1.- Bloquejat: La placa de vidre mollejada s'enganxa amb una aliatge metàl·lic suau com a adhesiu a un botó metàl·lic que fa de suport per sostenir la lent durant tot el procés de talla de la superfície.

2.- Desbast: És un procés de tallat bast de la peça de vidre amb l'objectiu d'aconseguir que les seves cares tinguin un radi de curvatura aproximat al que es necessita, aquest procés consisteix en rotar la peça contra una superfície que tingui el radi de curvatura requerit amb un material granulat gruixut.



Fig21: Làmina del procés antic de fabricació del vidre/Enciclopedia d'Alembert i Diderot.



Fig22: Algunes formes corrents de blocs de vidres òptics en brut/ El vidrio y la óptica ocular

3.- Rectificat: Aquest procés serveix per donar a les cares de la peça les curvatures que es requereixen, pel qual es sol usar un material granulat més fi (Òxid d'alumini

4.- Afinat En aquest procés es redueix la matèria vidriosa de forma que la peça presenti una espessor de 0.1 mil·límetres major que l'espessor definitiva i es deixa la peça a punt pel polit.

5.- Polit: És la fase final del tallat de superfícies, el motlle es recobreix amb un paper abrasiu i es poleix la lent

6.- Desbloqueig: Després de la inspecció de la superfície i donar el vistiplau a la qualitat de la lent, la peça és retirada del seu suport submergint-la en un recipient amb aigua freda i colpejant-la suaument amb un massatge de fusta.

Quan s'acaba amb una cara, es torna a repetir tot el procés per l'altra cara.

Les lents es poden classificar segons la seva composició. Hi ha les lents orgàniques que estan fetes de plàstics producte de la polimerització de cadenes que contenen carboni, hidrogen i oxigen i les minerals que estan fetes de vidre, és a dir de sorres de sílice (SiO_2), carbonat de sodi (Na_2CO_3) i calç (CaCO_3).

4.-Miralls:

Un mirall és un cos llis i opac que reflecteix la llum que rep. Segons la curvatura del mirall es pot classificar en tres tipus:

Si el mirall no presenta cap curvatura rep el nom de mirall pla. En aquest mirall la imatge que veiem no està distorsionada, és simètrica a l'objecte, és virtual, del mateix tamany i dreta.

Si el mirall presenta una curvatura podem dir que és còncav o divergent si la curvatura d'aquest és cap a dins. Aquest mirall concentrarà tots els raigs paral·lels al seu eix en el focus.

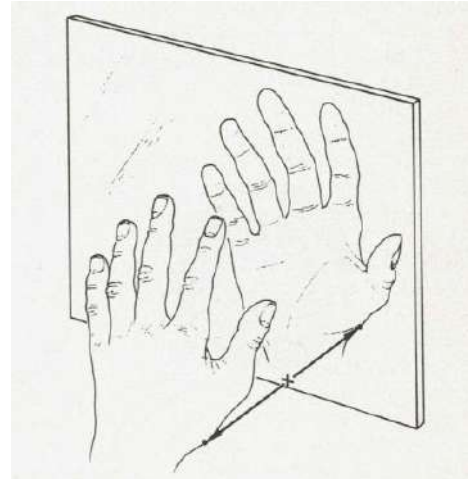


Fig23: Imatge en un mirall pla/
Font:OPTICA de Hecht-Zajac

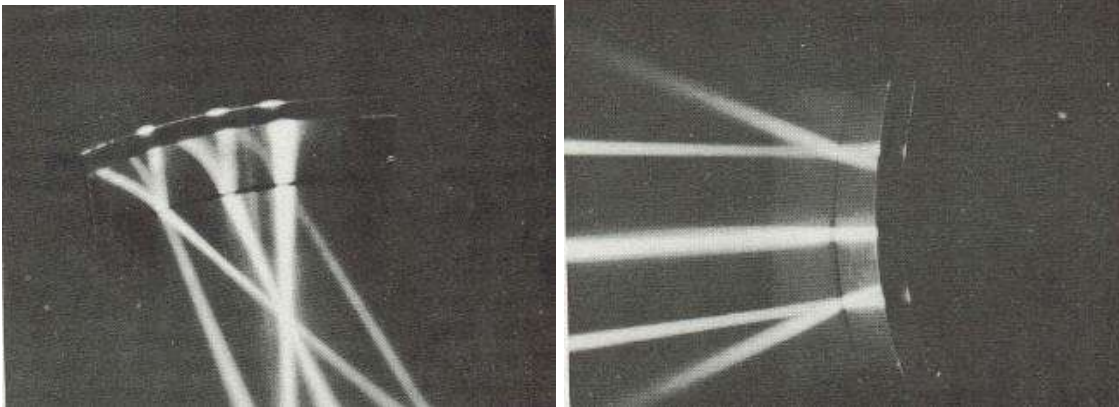


Fig24: Enfoc dels raigs per dos miralls esfèric/Font:OPTICA de Hecht-Zajac

Si aquesta curvatura és cap a fora, Aquest mirall dispersarà els raigs que vagin paral·lels al seu eix.

Tenint en compte el mateix criteri de signes que a les lents, la formula per deduir imatges en els miralls és:

$$1/s' + 1/s = 1/f$$

4.1.-Fabricació de miralls:

Un mirall podria ser simplement una peça de vidre negre o una superfície metàl·lica polida. En l'antiguitat es feien generalment recobrint el vidre amb plata per el seu gran poder de reflexió. No fa tant, els recobriments d'alumini evaporats en el buit sobre substrats altament polits han quedat com l'estàndard pels miralls de qualitat. Sovint sobre l'alumini s'hi posen capes de silici o fluorur de magnesi.

Procés de fabricació:

- Rentat i polit del vidre: El vidre es renta rigorosament a mà i a màquina i es poleix a màquina
- Sensibilització de la superfície del vidre: Aplicació de clorur d'estany per tal d'augmentar la porositat i l'adherència del vidre
- Rentat amb aigua desmineralitzada per retirar l'excedent de clorur d'estany
- Aplicació de plata: La plata és l'element que fa que un mirall sigui reflectant
- Rentat amb aigua desmineralitzada per retirar l'excedent de plata
- Protecció de la plata amb una pel·lícula de coure
- Rentat amb aigua desmineralitzada per retirar l'excedent de coure
- El mirall s'asseca amb aire a pressió
- Pintat amb pintura Fenzi italiana per tal de segellar i protegir el mirall
- Fornejat, per tal d'aconseguir una adhesió òptima per part de la pintura
- Neteja i assecat final.

5.-El telescopi:

Telescopi ve del mots grecs τηλε (tele-) que vol dir lluny i de σκοπ –(skop) que vol dir veure. i és un sistema òptic que permet veure objectes que es troben molt allunyats ampliant la mida i la lluminositat d'aquests. El telescopi és l'eina principal en la qual es basen l'astronomia i l'astrofísica. El telescopi ha estat un instrument crucial per la comprensió actual de l'univers i per refutar la teoria del geocentrisme.

La invenció del telescopi s'atribuïa a un fabricant de lents alemany, Hans Lippershey el 1592 però investigacions molt recents dutes a terme per Nick Pelling i publicades a la revista britànica d'història *History Today*, en un article escrit per ell mateix i titulat “*Who invented the telescope?*” (<http://www.historytoday.com/nick-pelling/who-invented-telescope>) diuen que l'autor de la invenció del telescopi va ser un gironí, Joan Roget, el 1590. El seu invent hauria estat copiat per Zacharias Janssen que el va intentar patentar l'octubre de 1592 però aquest ja havia estat patentat per Hans Lippershey dues setmanes abans.

Quan Galileu Galilei va assabentar-se d'aquest nou invent, va decidir fer-ne un. Entre 1609 i 1610 va construir un instrument que ell anomenava lent espia amb un tub d'òrgan una lent objectiu convexa d'uns tres centímetres de diàmetre i una altra lent còncava més petita que es trobava més a prop de l'ull de l'observador. La nit del 6 de gener de 1610 va estrenar el seu invent i va visionar la lluna, les estrelles i el planeta Júpiter on va poder identificar-hi quatre llunes. El fet de l'observació de les llunes de Júpiter va ratificar la teoria heliocèntrica de Copèrnic. Galileu va decidir escriure un tractat científic que va batejar com a *Sidereus nuncius* (Missatge sideral) el març del 1610 a Venècia basat en les seves observacions astronòmiques. Aquest tractat es considera el principi i l'origen de l'astronomia moderna i es considera a Galileu Galilei com el pare de l'astronomia. Galileu va construir dotzenes de telescopis i els va enviar a científics de les grans ciutats europees perquè avancessin en els seus estudis.

Posteriorment, l'alemany Johannes Kepler va millorar l'invent de Galileu utilitzant com a ocular una lent convexa i no còncava com havia fet Galileu, d'aquesta manera el camp de visió del telescopi augmentava però la imatge quedava invertida. La millora de Kepler tenia un inconvenient, la imatge que es veia no era gaire fidel a la real (fet que rep el nom d'aberració esfèrica).

Més tard, a mitjans del segle XVII, l'holandès Christiaan Huygens, va intentar contraarrestar la aberració esfèrica allargant la distància focal dels objectius, d'aquesta manera va aconseguir una correcció en el tamany i l'enfoc de la imatge i va descobrir l'anell de Saturn i més tard va descobrir-ne el primer satèl·lit, Tità.

A finals del segle XVII, Sir Isaac Newton, creient que la aberració esfèrica no és podia corregir, va inventar un altre tipus de telescopi, el telescopi reflector, fet a base de miralls. El seu raonament era molt simple i vertader. Si la llum no travessava cap lent, llavors no hi hauria aberració esfèrica. Newton va presentar el seu telescopi a la Royal Society el 1671.

Al mateix temps que Newton inventava el seu telescopi reflector, l'escocès James Gregory i el francès Guillaume Cassergrain ideaven uns telescopis similars però que no es van poder

construir fins a finals del segle XIX perquè els òptics de l'època no estaven dotats de prou coneixements per fer-ho. La variant que més es coneix en l'actualitat és el telescopi Schmidt-Cassegrain ja que l'estonià Bernard Schmidt va afegir al disseny de Cassegrain una lent per millorar la imatge.

A principis del segle XIX el francès Léon Foucault, va trobar un mètode per platejar el vidre i així aconseguir un mirall amb una imatge més fidel que la que donaven els miralls metàl·lics de Newton. Amb aquest avenç els telescopis reflectors es van tornar més pràctics i fou en aquest punt que es van començar a construir telescopis de grans dimensions tant refractors com reflectors. El telescopi refractor més gran va ser el del nord americà Robert Mearns Yerkes construït a finals del segle XIX a Chicago, als Estats Units, dotat d'una mica més d'un metre de diàmetre.

Al segle XX, davant l'inconvenient del gran tamany i de l'elevat pes de les seves lents, els telescopis reflectors van acabar guanyant la cursa als refractors. Els telescopis reflectors més coneguts són l'Observatori del Mont Wilson de dos metres i mig de diàmetre, amb el qual Edwin Hubble va descobrir l'expansió de l'univers. Un altre telescopi molt conegut és el de Mont Palomar amb 5 metres de diàmetre que va ser el més gran del món fins 1970.

Durant els últims vint anys s'ha avançat molt en la construcció de telescopis, fins a construir-ne un de 8,4 metres de diàmetre amb miralls d'una sola peça i de fins deu metres de diàmetre amb miralls fragmentats com per exemple els dos telescopis instal·lats al cim del volcà hawaïà Mauna Kea, els miralls primaris d'aquest telescopis estan controlats amb ordinador, d'aquesta manera s'aconsegueix una imatge més fidel al cos celeste i es contraresten les aberracions que produeix l'atmosfera terrestre.

Tot i que aquestes tècniques de correcció de la imatge funcionen prou bé, la imatge encara es capta amb certa aberració òptica. Actualment per aconseguir una imatge fidel es fa amb dos o més telescopis allunyats i es combina la imatge aconseguint així un patró d'interferència. Amb aquest patró d'interferència és possible mesurar el diàmetre dels astres observats. Aquesta tècnica rep el nom de interferometria òptica. Amb aquesta tècnica, combinant la imatge de 4 telescopis és pot aconseguir una imatge equivalent a la d'un telescopi reflector de 100 metres de diàmetre. El patró d'interferència dona una imatge amb molt poca definició però a base d'algoritmes es poden tractar les dades i aconseguir una imatge amb una bona resolució.

No tots els telescopis es troben a la superfície terrestre, el 1956, la Unió Soviètica va llançar el primer satèl·lit artificial a l'espai exterior. Des de 1990, el telescopi Hubble, dotat d'un mirall primari de 2,4 metres, està en òrbita terrestre. El Hubble va ser dissenyat per poder ser reparat a l'espai. Per fer-ho la NASA hi envia expedicions de transbordadors espacials que amb un braç robòtic l'agafen i els astronautes que tripulen la nau el reparen i li afegeixen nous instruments i tornen el Hubble a la seva òrbita.

El 2018 està planejat que la NASA llenci a l'espai el telescopi espacial James Webb que superarà les capacitats del Hubble ja que tindrà un mirall primari de sis metres i mig i també estarà dotat d'instruments per fer observacions en longituds d'ona infraroja. Està pensat d'establir aquest telescopi al punt L2 situat a un milió i mig de quilòmetres de la terra, punt on la gravetat del Sol i la de la Terra s'equilibren amb la força centrífuga causada pel cos que es

troba en aquest punt. Els científics esperen que el Webb pugui observar llum de les primeres galàxies i de les primeres estrelles.

L'astronomia ha evolucionat tant en els últims anys que actualment ens és possible d'observar planetes que orbiten estrelles llunyanes amb la mateixa resolució que Galileu Galilei va observar Júpiter amb el seu telescopi el 1610.

6.-Tipus de telescopis:

6.1.-El telescopi refractor:

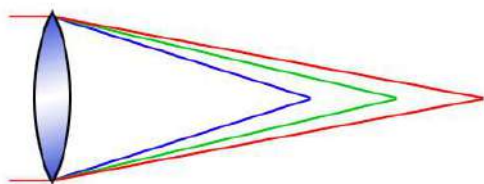
Un dels telescopis més coneguts en l'astronomia és el telescopi refractor. Aquest telescopi utilitza lents en la part frontal del tub tancat per enfocar i concentrar la llum exterior en un punt, més concretament, concentra tots els rajos paral·lels a l'eix a un punt que rep el nom de focus o punt focal. Això permet observar aquesta llum concentrada a través d'una lent a la part posterior del tub. No se sap del cert quan va ser inventat però hi ha escrits que suggereixen que s'havia fabricat un prototipus a la dècada del 1550 però els primers plànols de telescopis refractors venen d'Itàlia (1590) i d'Holanda (1608) però també s'han trobat documents que diuen que el telescopi va estar inventat per un català el 1590, Joan Roget. Amb un telescopi d'aquest Galileu Galilei va observar el cràter de la Lluna, les llunes de Júpiter i els anells de Saturn. Com que aquests tipus de telescopis juguen amb la flexió/refracció de la llum el seu principal defecte és que apareixen aures vermelles i blaves al voltant de cossos molt brillants això rep el nom d'aberració cromàtica

Que és ben bé l'aberració cromàtica?

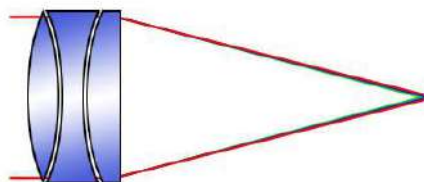
L'aberració cromàtica és un tipus de distorsió òptica provocada per la impossibilitat que té una lent per enfocar tots els colors de la llum en un únic punt de convergència. Hi ha dos tipus d'aberració cromàtica: la longitudinal, que forma una imatge amb els contorns colorats i la lateral que genera una imatge amb una major proporció de blanc (aquesta sol tenir lloc quan no hi ha filtre solar)

Hi ha tres tipus de telescopis refractors segons la correcció de l'aberració cromàtica que presenten: els cromàtics, els acromàtics i els apocromàtics. Un refractor cromàtic no corregeix l'aberració cromàtica i el cos observat apareix amb aures blaves i vermelles. Un refractor acromàtic està dotat d'una lent per corregir aquesta aberració però no la corregeix del tot i el refractor apocromàtic té dues lents per corregir l'aberració cromàtica però no aconsegueix corregir-la del tot.

Lent d'un telescopi cromàtic:



Lents d'un telescopi apocromàtic:



Lents d'un telescopi acromàtic:

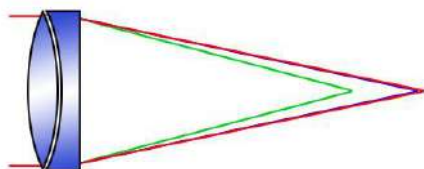


Fig 25/26/27 Lents de telescopis refractors/
www.telescopioscolombia.com

6.1.1.-Telescopi de Galileu Galilei (Annex I):

El telescopi de Galileu, està format per una lent biconvexa a l'objectiu i una lent bicòncava a l'ocular. Dona una imatge dreta però tenia importants defectes en el seu disseny i com a conseqüència les imatges eren borroses i distorsionades. Tot i aquests defectes Galileu va poder estudiar força bé el cel.

Els rajos que venen paral·lels a l'eix d'un objecte que dista x de la lent convergent (objectiu) passen per aquesta i es van a concentrar en el focus que es troba darrere de la lent de l'ocular. La lent divergent (Ocular) intercepta aquests rajos i els fa altre cop paral·lels a l'eix (Font 1). Els rajos de llum que no són paral·lels a l'eix que es desplacen en un angle α després de passar per les dues lents adquireixen un angle major. Això és el que produeix l'augment del tamany angular i és l'ampliació que es veu.

Es formen dues imatges, una dins l'ull de l'observador i una altra a l'infinít invertida.

Fig:28/ <http://astrotossa.blogspot.com.es/2014/03/>

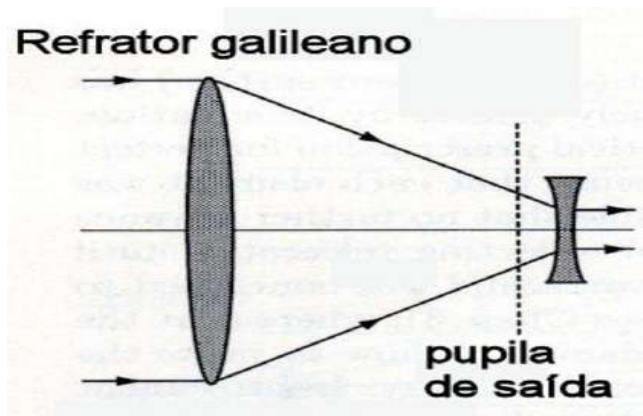
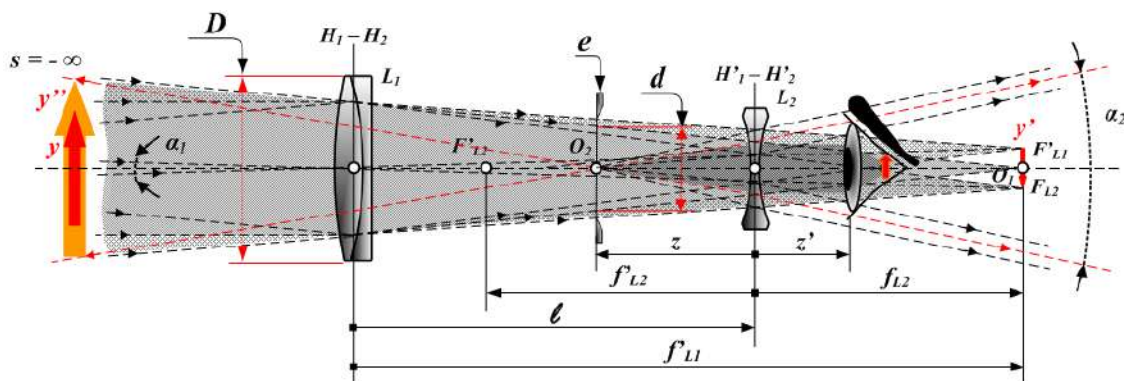


Fig:29/ https://es.wikipedia.org/wiki/Telescopio_refractor#/media/File:Galileantelescope.png



6.1.2.-Telescopi de Johannes Kepler:

El disseny de Kepler és una millora del telescopi de Galileu. En comptes de fer servir una lent còncava a l'ocular en fa servir una de convexa. L'avantatge d'aquest canvi és que els rajos de llum que emergeixen de l'ocular són convergents i això permet un camp de visió molt més ampli i detallat però a diferència que en el telescopi de Galileu aquí la imatge que veu l'observador és invertida.

A diferència que el telescopi de Galileu, en el de Kepler, els rajos que entren paral·lels a l'eix per l'objectiu es creuen al focus ja que aquest es troba per davant de l'objectiu. Aquest és el motiu pel qual la imatge que es veu amb el telescopi de Kepler és invertida.

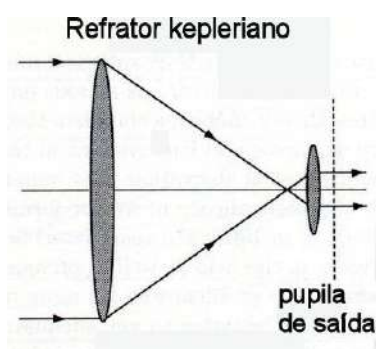
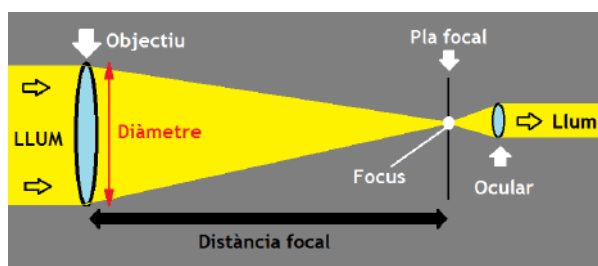


Fig 30/31: Esquemes del telescopi de Kepler/
<http://astro.if.ufrgs.br/telesc/node2.htm>:
<http://astrotossa.blogspot.com.es/2014/03/>



6.2.- El telescopi reflector:

Thomas Digges va publicar el 1571 un llibre, *Pantometria*, on hi havia els estudis i les observacions que havia fet Leonard Digges, el seu pare, del comportament de la llum en miralls còncaus i convexos col·locats en angles precisos per observar regions grans a grans distàncies. Més tard, el 1616, el físic italià Niccolò Zucchi deia que les idees dels Digges eren viables segons experiments que havia fet ell. El 1636, Marin Mersenne, un monjo de l'ordre del Mínims, basant-se en les explicacions del llibre de Leonard i Thomas Digges va construir un telescopi reflector amb un mirall parabòlic i un petit forat. El 1663, James Gregory va perfeccionar la idea de Mersenne afegint un petit mirall secundari còncau. El 1668, Isaac Newton va perfeccionar el disseny de Gregory canviant el mirall secundari còncau per un de pla.

Els telescopis reflectors eviten l'aberració cromàtica ja que no refracten la llum sinó que la reflecteixen. El telescopi reflector clàssic format per un mirall primari còncau, un mirall secundari pla i un ocular es coneix com a Telescopi Newtonià.

6.2.1.-Telescopi d'Isaac Newton (Annex II):

Aquest telescopi va ser ideat i construït per Isaac Newton l'any 1668. Tècnicament el que va fer Newton és millorar el Disseny de Gregory de 1663 canviant el mirall secundari còncau per un de pla. No es pot determinar qui va ser l'inventor d'aquest tipus de telescopi ja que ha estat millorat per molts físics i astrònoms. És increïble que un telescopi que va ser millorat el 1668 segueixi de moda. Un factor que té a favor el reflector de Newton en comparació als altres tipus de telescopi és el preu, ja que els miralls no són tan cars com les lents. Newton en fer observacions a l'espai va poder veure que el seu telescopi, a diferència dels telescopis refractors, no distorsionava el color. Va poder veure les quatre llunes de Galileu de Júpiter i la fase creixent de Venus. Un telescopi de Newton va ser presentat a la Royal Society a finals de 1671 i Carles II d'Anglaterra el va fer membre d'aquesta ja que va quedar fascinat del seu invent.

Aquests telescopis no produeixen aberració cromàtica ja que no flexionen la llum. Però pateixen de coma o aberració esfèrica que es tradueix en que quan observem un objecte puntual com pot ser una estrella ens apareix en forma de cometa, més allargassada, en forma de coma. Si el cos puntual que observem es troba al centre de la regió observada no pateix aquesta aberració.

Està format per un mirall primari de forma paraboloide (però a la practica tots tenen un mirall esfèric) i un de pla, secundari, molt més petit. El mirall primari permet recollir la llum de la regió que volem observar i el secundari, subjectat per una aranya, la desvia fora de l'eix òptic del mirall primari de manera perpendicular a aquest per poder observar-la a través d'un ocular.

Els telescopis newtonians de gran tamany tenen el problema que per observar la imatge, l'observador ha de fer servir una escala per tal d'arribar a l'ocular.

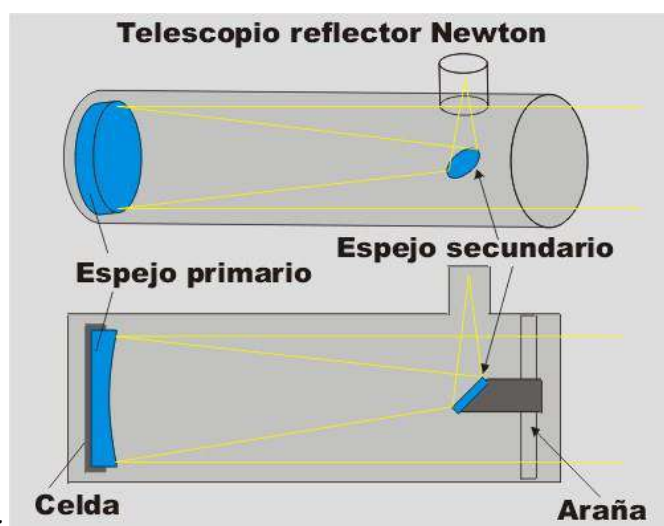


Fig 32 Esquema del telscopi de Newton/ <http://www.infobservador.com/2010/11/como-elegir-un-telescopio/>

6.2.2.-Telescopi de James Gregory:

És un telescopi dissenyat pel matemàtic i astrònom escocès James Gregory anterior al de Newton. Ell no el va poder construir ja que els primers intents per fer-ho van fallar perquè l'escocès no tenia aptituds tècniques per a la construcció i no va trobar cap òptic capaç de construir-li. Uns deu anys després de la publicació del disseny l'anglès Robert Hooke es va interessar per aquest i va poder construir-lo.

El telescopi gregorià esta format per dos miralls còncaus. El mirall primari concentra la llum al focus primari. Després del focus primari s'hi troba el mirall secundar que torna a concentrar tota al focus secundari on s'hi troba l'ocular.

Aquest tipus de telescopis soluciona el problema que tenen els telescopis newtonians de gran tamany ja que l'observador veu la imatge dret darrere del mirall primari sense necessitat d'una escala.

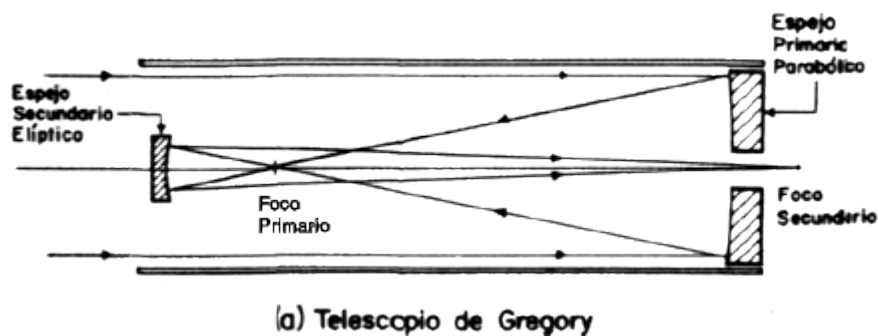


Fig 33: Esquema del telescopi de Gergory / <http://astronomia-fisica-misiones-espaciales.blogspot.com.es/2010/12/historia-del-telescopio-1.html>

6.2.3.-Telescopi de Laurent Cassegrain:

La invenció d'aquest telescopi s'atribueix al sacerdot i físic francès Laurent Cassegrain el 1672 que el va dissenyar amb la mateixa intenció que tenia Isaac Newton, millorar el disseny de telescopi reflector que el precedia. Es va basar en els estudis de Marsenne, Gregory i Newton.

El telescopi de Cassegrain està compost per tres miralls. El primari, és de forma còncaua parabòlica i concentra tots els rajos que rep en el focus on s'hi troba el mirall secundari que és de forma convexa que és l'encarregat de reflectir la llum cap a un altre mirall pla inclinat 45 graus que envia la llum cap a l'ocular.

Aquest telescopi escurça el tamany necessari del tub i reemplaça el segon mirall del telescopi de Gregory que és difícil de tallar per un de més petit. I corregeix les aberracions que es produeixen amb el de Gregory.

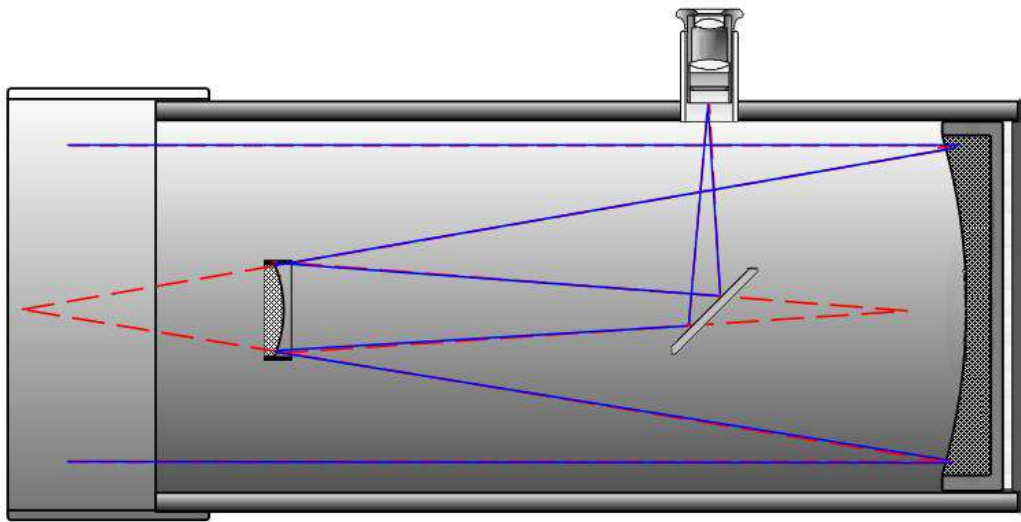


Fig34 :Esquema del telscopi de Cassergain/

https://es.wikipedia.org/wiki/Telescopio_de_Cassegrain#/media/File:Telescopio-Cassegrain.png

Variants:

Telescopi d'Schmidt-Cassegrain: És com el telescopi de Cassegrain però incorpora una lent d'Schmidt. La lent d'Schmidt és una lent que se situa per on entra la llum, és una lent còncaua-convexa, ondulant per una cara i plana per l'altra que serveix per corregir l'aberració esfèrica.

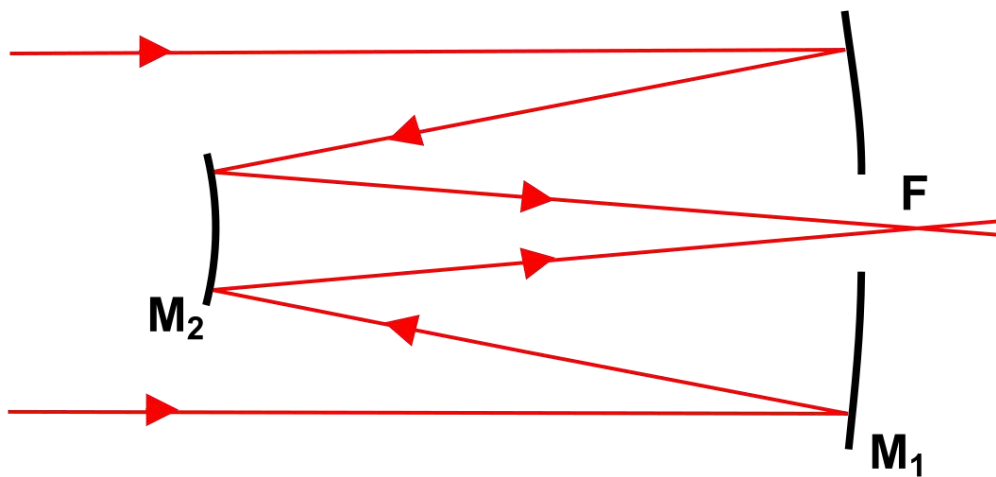
Telescopi de Maksútov-Cassegrain: L'òptic rus Dimitri Maksútov va millorar els miralls del telescopi de Cassegrain i hi va afegir una lent còncaua-convexa no ondulant, és a dir per una cara còncaua i per l'altra convexa. D'aquesta manera el telescopi Mak-Cas obté una nitidesa d'imatge inigualable.

6.2.4.-Telescopi de Ritchey-Chrétien (RCT):

El telescopi de Ritchey-Chrétien és un telescopi inventat el 1910 per l'astrònom nord americà George Willis Ritchey i l'astrònom francès Henri Chrétien que pretén corregir els errors òptics de la coma augmentant així la fidelitat a la realitat amb la regió de l'espai observada per això es fa servir en fotografia espacial. Tot i que l'RCT, anul·la gran part de la coma no ho fa totalment.

El disseny d'aquest telescopi es molt semblant al gregorià però el mirall secundari és convex i es troba entre el focus del mirall primari i el mirall primari no com en el gregorià on el focus es troba entre el mirall primari i el secundari (Font 8). (la llum no arriba a creuar-se en el focus primari).

Fig35: Esquema telescopi RCT/ https://es.wikipedia.org/wiki/Telescopio_de_RCT#/media



Ritchey-Chrétien

7.-Part pràctica, la construcció del telescopi:

7.1.-Procediment seguit:

Primer de tot vaig posar l'aranya del mirall secundari a la part superior d'un tub de PVC i vaig fer-hi quatre forats per tal de fixar-la. Tot seguit vaig foradar l'aranya pel mig i hi vaig unir el mirall secundari. Aquesta peça la vaig dissenyar amb l'Sketch Up i la vaig imprimir amb la impressora 3D del centre.

Fig36: Aranya del mirall secundari/Font pròpia

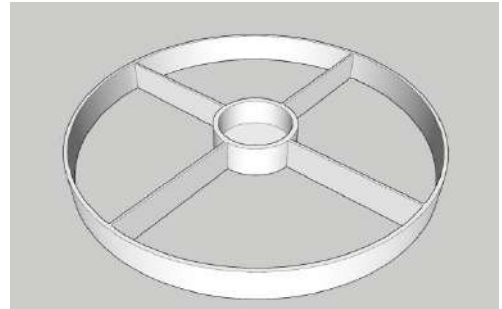


Fig37: Mirall secundari/Font pròpia



Fig38/39: Mirall secundari i aranya/ Font pròpia

A continuació vaig col·locar la base del mirall primari a la part inferior del tub i vaig fixar-la-hi. Per tal de fixar el mirall primari amb el seu suport vaig fer tres forats a la base de fusta i vaig unir el mirall i la base amb uns bisos llargs. Entre el mirall i la base hi vaig posar unes molles per tal de poder regular-ne la inclinació amb unes papallones a l'altre extrem dels bisos metàl·lics.

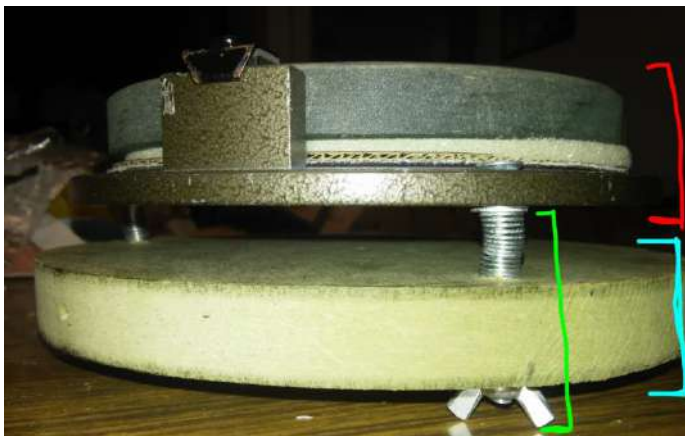


Fig40: Mirall primari i suport de fusta /Font pròpia

Vermell: Mirall primari

Verd :Bis + molla + papallona

Blau: Base de fusta



Fig41: Mirall primari/Font pròpia

El següent pas va ser treure els miralls i tallar el tub en dues parts desiguals, la primera, on hi va el mirall secundari de 28cm llargada i de 21cm de diàmetre i la segona, on hi va el mirall primari de 74cm de llarg i de 20cm de diàmetre. Després vaig fer els forats per tal d'unir els 12 clips de plàstic al tub de PVC amb la funció de subjectar les barres de coure de 78cm X 1,5cm i unir les dues parts del telescopi. D'aquesta manera el telescopi es pot plegar i desplegar i així la distància entre els dos miralls és la focal del primari, 150cm.



Fig42: Cos del telescopi/Font pròpia



Fig43: Tub de coure aguantat amb les pinces de plàstic/Font pròpia

-Que és la distància focal?

Tinguent en compte que "s" és la distància entre el mirall i l'objecte i que "s'" és la distància entre la imatge d'aquest i

el mirall la distància focal en un mirall és: $\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R}$

Dit d'una altra manera, la distància focal és la que hi ha entre el mirall i el focus, punt on es concentren tots els raigs que incideixen en el mirall que són paral·lels a l'eix d'aquest.

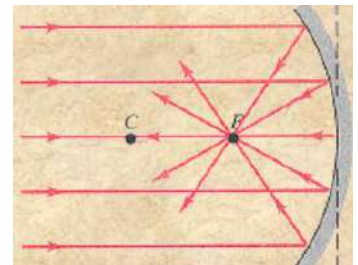


Fig44: Esquema de la distància focal/www.telescopioscolombia.com

També vaig haver de tallar totes les barres de coure ja que sinó el telescopi tancava del tot. Tot seguit vaig marcar la posició del mirall secundari per fora del tub de PVC per tal de fer el forat per l'enfocador i que aquests dos elements tinguessin el mateix eix òptic.



Fig47: Enfocador de cremallera/Font pròpia

Fig48: Forat per l'enfocador
Font pròpia

Fig45/Fig46: Marques per fer el forat per l'enfocador/Font pròpia

Per tal que la part de dalt del telescopi no "ballés", es a dir, que els tubs de coure quedessin paral·lels al cos del telescopi, vaig tallar uns tacs de fusta de 3cm X 3cm X 4,5cm i els vaig fer un forat de 16mm de diàmetre al mig i els vaig passar per dins els tubs de coure. D'aquesta manera vaig aconseguir que els tubs de coure quedessin paral·lels al tub central. (Es pot veure la diferència entre els tubs de la Fig 49 i els tubs de la Fig 59.



Fig49: Part inferior del cos del telescopi/ Font pròpia



Fig50: Tac de fusta per corregir la direcció/ Font pròpia



Fig51: Tacs de fusta/ Font pròpia



Fig52: Taladre foradant el tac de fusta/ Font pròpia

Un cop vaig tenir tot això fet, vaig desmuntar tot el telescopi i el vaig pintar de color negre per la part de dins per evitar reflexes de la llum a les parets de PVC. L'exterior el vaig pintar de color blanc i les quatre peces de fusta de color negra per un tema estètic. També vaig pintar de color negre l'aranya del mirall secundari.



Fig53: Peces pintades/ Font pròpia

El pròxim pas va ser construir el suport giratori del telescopi que consta de 4 peces fetes de fusta 100% reciclada

Peça quadrada grossa(54cm X 54cm):

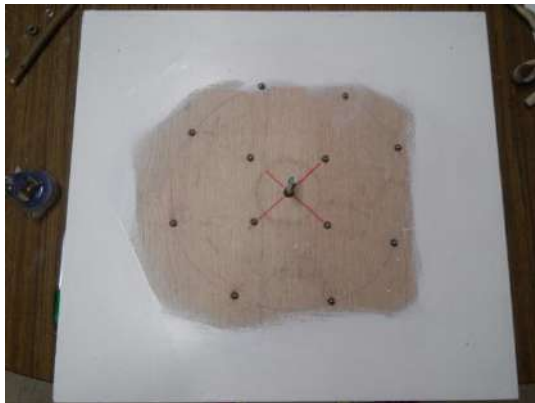


Fig54: Peça quadrada grossa de la base/
Font pròpia

Braços de la base (11,5cm X 60cm):



Fig55: Braços de la base/ Font pròpia

La peça quadrada grossa de la base té 12 boles de metall enfonsades uns 0,5cm i un cargol per tal que la peça que hi va al damunt pugui girar i així poder moure el telescopi sense haver d'aixecar-lo

Peça quadrada petita(42cm X 42cm):



Fig56/Fig57:
Peça quadrada
petita de la
base/ Font



Aquesta peça té 4 cargols per tal de poder fixar els dos braços de fusta que s'enganxen amb el telescopi.

Aquest és el resultat final del telescopi:



Fig58: Foto del telescopi acabat /Font pròpia



Fig59: Foto del telescopi acabat /Font pròpia



Fig60: Foto del cap del telescopi acabat /Font pròpia

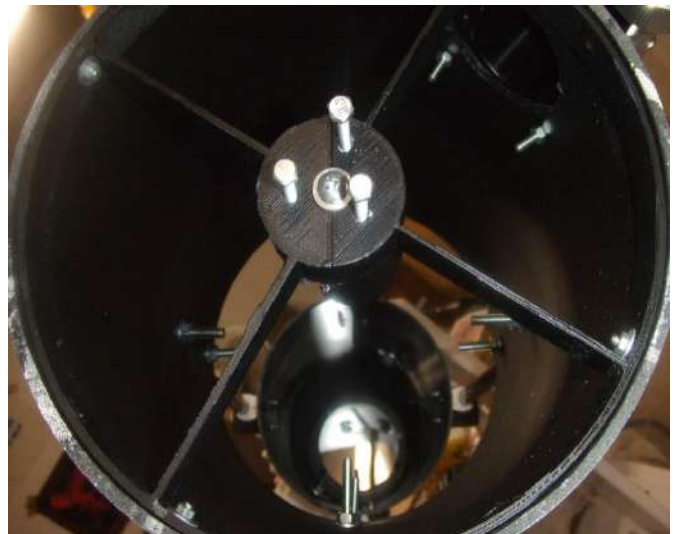


Fig61: Foto del cap del telescopi acabat /Font pròpia

Quan vaig tenir acabat el telescopi, només veia una imatge borrosa i vaig buscar per internet quin podia ser el problema i molt possiblement és que no el vaig col·limar (pàg 38).

7.2.- Cost del projecte i hores empleades:

Tubs de coure 5,65X4	22.6€
Tornavisos de papallona	1.10€
Tornavisos per metall	2.56€
Arandelles estrella	0.14€
Femelles hexagonals	0.45€
Spray deco mate 8,50X2	17.00€
Tub de PVC	15.62€
Miralls del telescopi	42.00€
Ocular Super Pössl Advance 4mm	48.74€
Enfocador de cremallera	21.00€
Broques de taladre	4.35€
<u>Tornavisos de cap quadrat</u>	<u>0.36€</u>
Total	175.92€

(Podeu consultar les factures als Annexos III, IV, V i VI)

Entre la construcció del telescopi i la construcció de la base estimo que vaig emplear al voltant de 50 hores, no puc ser més precís ja que no ho comptava sinó que hi anava dedicant les hores lliures que tenia a l'estiu i durant els primers mesos del curs.

7.3.-Que és la col·limació i com es fa?:

Segons la RAE col·limar és la acció d'obtenir un feix de llum de raigs paral·lels a partir d'un focus lluminós. Dit d'una altra manera, és el procés que s'ha de seguir per veure una imatge nítida a l'ocular. Els miralls i l'ocular d'un telescopi estaran col·limats quan tinguin tots el mateix eix òptic.

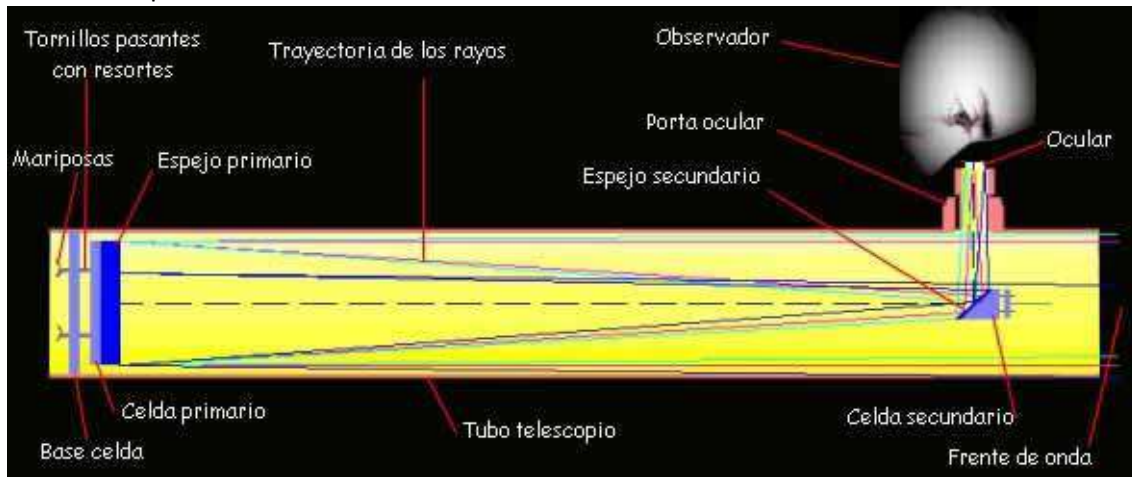


Fig62: Esquema d'un telescopi col·limat/

http://www.astrofacil.com/Taller_astronomo/Colimar_tesleco_pio_newtoniano/Colimar_tesleco_pio_newtoniano_1.html

Com més gran és l'entrada de llum al telescopi, amb més facilitat es descol·lima. Durant el transport, els telescopis es solen descol·limar força.

Hi ha dos mètodes per col·limar un telescopi, el visual i amb el col·limador làser.

El col·limador és un punter làser que es posa al porta oculars o enfocador i si el telescopi està degudament col·limat el feix de llum làser torna al punter i topa amb el centre del cercle de color gris. El preu d'aquests instruments ronda els 100€.



Fig63: Col·limador/ <https://www.alarconweb.com/Colimador-laser-Hotech-SCA>

8.-Conclusions:

Estic satisfet amb el resultat final del treball tot i que no he pogut provar encara el meu telescopi ja que m'ha faltat molt temps per poder col·limar-lo. Quan vaig començar el treball sabia que seria difícil construir un telescopi però no em pensava que ho fos tant i que portés tanta feina.

No dono el treball de recerca acabat ja que tot i que ja l'he entregat seguiré investigant i intentaré col·limar-lo per poder observar el cel i acabar complint tots els meus objectius principals del treball.

Tot i que no he complert un dels meus objectius crec que puc estar content amb el conjunt del treball ja que he consolidat molts conceptes nous i m'he familiaritzat amb el vocabulari i material relacionat amb l'òptica que em serviran l'any vinent quan estudiï la carrera d'òptica i optometria. També he après a fer servir l'Sketch Up i la impressora 3D.

9.-Bibliografia:

Llibres:

Antó i Roca Joan (profesor a l'UPC), *Óptica Instrumental*, Edicions UPC, any ???. 140 pgs

Casas Justiniano (Catedràtic d'òptica de la facultat de ciències de l'Universitat de Saragossa fins el 98). *Òptica*. Saragossa, 1972. 445 pgs

Duke-Elder. *Refracción teoría y práctica*, Editorial JIMS, 1985. 279 pgs

Hecht-Sajac. *Optica*, Fondo educativo interamericano, S.A., 1977. 585 pgs

Millodot Michel, *Diccionario de Optometría*, Colegio Nacional de ópticos-optometristas, 1990. 301 pgs

Saona Santos Carlos. *Tecnología Óptica*

Apunts propis de física del tema d'òptica del curs 16-17

Webs:

<https://ca.wikipedia.org/wiki/Telescopi>

<http://www.enciclopedia.cat/EC-GEC-0145356.xml>

<http://www.astronomiaonline.com/2013/09/la-historia-del-telescopio/>

https://es.wikipedia.org/wiki/Sidereus_nuncius

<https://www.google.es/search?q=aberraci%C3%B3n+esf%C3%A9rica&oq=aberraci%C3%B3n+esf%C3%A9rica&aqs=chrome..69i57j0l5.1015j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>

https://es.wikipedia.org/wiki/Puntos_de_Lagrange

<http://www.educarchile.cl/ech/pro/app/detalle?id=77345>

https://es.wikipedia.org/wiki/Telescopio_refractor

<http://www.captandoelcosmos.com/el-telescopio-refractor/>

<http://blog.astroaficion.com/2011/02/22/tipos-de-telescopios/>

http://www.carlostapia.es/astro/tipos_telescopios_refractores.html

https://es.wikipedia.org/wiki/Telescopio_reflector

<http://www.omegon.eu/es/asesoramiento/telescopios/conocimiento-de-telescopios/telescopios-diferentes-tipos/reflector-newtoniano/c,8687>

<https://www.republicadefantasia.com/es/juguetes-y-regalos-astronomia/telescopio-newton/p-224#.WVzGyYLSU1>

https://ca.wikipedia.org/wiki/Telescopi_de_Cassegrain

https://es.wikipedia.org/wiki/Telescopio_de_Cassegrain

https://pendientedemigracion.ucm.es/info/Astrof/users/jaz/IA/IA_02.pdf

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ritchey-Chretien-Cassegrain-Teleskop.svg>

<http://www.xtec.cat/~jcamps15/projecteu1l/lents/lents.htm>

http://images.slideplayer.es/18/5891657/slides/slide_8.jpg

<http://cs-fs-primero.blogspot.com.es/2015/06/refraccion-velocidad-de-la-luz-y.html>

http://www.astrofacil.com/Taller_astronomo/Colimar_telescopio_newtoniano/Colimar_teleoscopia_newtoniano_1.html

10.-Índex d'il·lustracions

Fig 1: Il·lustració de la càmera fosca	pàg 6
Fig 2: Descomposició de la llum blanca	pàg 6
Fig 3 Diagrama de la refracció	pàg 6
Fig 4:Diagrama d'un feix de llum	pàg 8
Fig 5 Diagrama del principi de fermat	pàg 9
Fig 6: Espectre de les ones electromagnètiques	pàg 10
Fig 7: Diagrama de la refracció 1	pàg 11
Fig 8: Diagrama de la refracció 2	pàg 11
Fig 9: Taula dels índexs de refracció	pàg 12
Fig 10: Diagrama de la refracció 3	pàg 12
Fig 11 Diagrama de l'angle de refracció	pàg 12
Fig 12: Diagrama de la reflexió especular/difusa	pàg 13
Fig 13: Diagrama de l'angle límit	pàg 13
Fig 14: Raig de llum en una dispersió col·loïdal	pàg 14
Fig 15: Diagrama de la difracció	pàg 14
Fig 16: Funcionament d'una lent convergent	pàg 15
Fig 17: Funcionament d'una lent divergent	pàg 16
Fig 18: Diagrama de concavitat de lents	pàg 16
Fig 19: Tipus de lents esfèriques	pàg 17
Fig 20: Diagrama de formació d'imatges	pàg 17
Fig 21: Làmina de la fabricació del vidre	pàg 18
Fig 22: Blocs de vidres òptics	pàg 18
Fig 23: Imatge en un mirall pla	pàg 20
Fig 24: Enfoc miralls esfèrics	pàg 20
Fig 25/26/27: Lents de telescopis refractors	pàg 25

Fig 28: Esquema del refractor de Galilei 1	pàg 26
Fig 29: Esquema del refractor de Galilei 2	pàg 26
Fig 30: Esquema del telescopi de Keppler 1	pàg 27
Fig 31: Esquema del telescopi de Keppler 2	pàg 27
Fig 32: Esquema del telescopi de Newton	pàg 28
Fig 33: Esquema del telescopi de Gregory	pàg 29
Fig 34: Esquema del telescopi de Cassegrain	pàg 30
Fig 35: Esquema del telescopi RCT	pàg 31
Fig 36: Aranya del mirall secundari	pàg 32
Fig 37: Mirall secundari	pàg 32
Fig 38: Mirall secundari i aranya	pàg 32
Fig 39: Mirall secundari i aranya	pàg 32
Fig 40: Mirall primari i suport de fusta	pàg 32
Fig 41: Mirall primari	pàg 32
Fig 42: Cos del telescopi	pàg 33
Fig 43: Tub de coure aguantat amb les pinces de plàstic	pàg 33
Fig 44: Esquema de la distància focal	pàg 33
Fig 45: Marques per fer el forat per l'enfocador	pàg 34
Fig 46: Marques per fer el forat per l'enfocador	pàg 34
Fig 47: Enfocador de cremallera	pàg 34
Fig 48: Forat per l'enfocador	pàg 34
Fig 50: Part inferior del telescopi	pàg 34
Fig 51: Tac de fusta per corregir la direcció	pàg 34
Fig 52: Tacs de fusta	pàg 34
Fig 53: Peces pintades	pàg 35
Fig 54: Peça quadrada gorssa de la base	pàg 35
Fig 55: Braços de la base	pàg 35

Fig 56: Peça quadrada petita de la base	pàg 35
Fig 57: Peça quadrada petita de la base	pàg 35
Fig 58: Foto del telescopi acabat	pàg 36
Fig 59: Foto del telescopi acabat	pàg 36
Fig 60: Foto del cap del telescopi acabat	pàg 36
Fig 61: Foto del cap del telescopi acabat	pàg 36
Fig 62: Esquema d'un telescopi col·limat	pàg 37
Fig 63: Col·limador	pàg 37
Fig 64: Estatua de Galileu Galilei que es troba a la Galeria dels Uffizzi a Florència	pàg 45
Fig 65: Estatua d'Isaac Newton que es troba a Trinity College	pàg 46

11.-Annexos

Annex I

Biografia sintetitzada de Galileu Galilei

Galileu Galilei va ser un dels promotors de la revolució científica durant el Renaixement que va començar amb la teoria heliocèntrica de Copèrnic i va acabar amb la mecànica de Newton. En el camp de la física, Galileu va formular les primeres lleis del moviment; en el de l'astronomia, va confirmar la teoria de Copèrnic amb observacions telescòpiques. Però l'aportació més valuosa fou la introducció del mètode científic experimental. És considerat el pare de la ciència moderna.

Galileu va néixer a Pisa el 15 de febrer de 1564. El seu pare, Vincenzo Galilei, era florentí i procedent d'una família il·lustre, músic de vocació, però degut a les dificultats econòmiques es dedicava al comerç que el va portar a instal·lar-se a Pisa. El 1574, la família es va traslladar a Florència però Galileu es va quedar a Pisa a càrrec d'un veí que el va posar al convent de Santa Maria di Vallombrosa, com a alumne i novell. Quan el pare de Galileu, que no era devot, es va a donar d'això, el va treure del convent i el va posar a la Universitat de Pisa perquè estudiés medicina.

A Galileu no li agradava la medicina i degut a la seva poca tolerància cap a l'autoritat i la ignorància i falta d'esperit crític dels seus professors va deixar la universitat als 21 anys i es va centrar en el que realment li agradava, la física. Als 25 anys va fer importants descobriments en la mecànica i va aconseguir una plaça com a professor de matemàtiques a la Universitat de Pisa. A partir d'aquest moment va començar a compaginar l'ensenyament amb la investigació i la invenció de nous instruments d'estudi.

El 1609, un alumne li va fer saber de l'existència d'un descobriment d'un holandès, el telescopi. Impressionat per aquest invent i per les seves possibles futures aplicacions en va construir un superant en poc temps les prestacions de l'instrument original. L'èxit dels seus telescopis van donar-li fama per tot Europa i un lloc vitalici com a professor a la Universitat de Pàdua. Gràcies al telescopi va poder confirmar la teoria heliocèntrica de Copèrnic.

Això el va portar a ser acusat d'heretge i va haver de retractar-se de la seva teoria, que la terra es movia al voltant del Sol, si no volia morir cremat per la Santa Inquisició.

La teoria heliocèntrica de Copèrnic i Galileu està actualment acceptada per la NASA i per la comunitat científica. El Vaticà no va demanar perdó fins el 1991 durant el període papal de Joan Pau II.

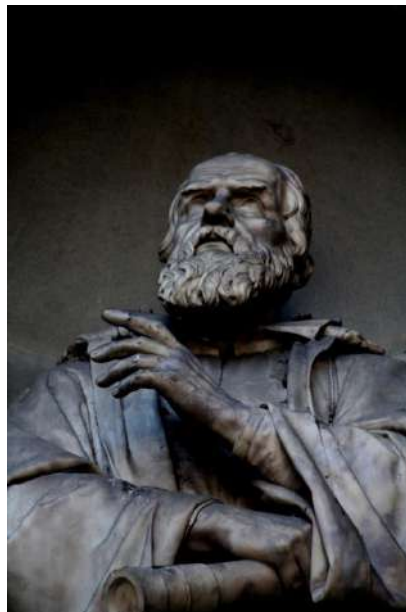


Fig64: Estatua de Galileu Galilei que es troba a la Galeria dels Uffizi a Florència/ Font Pròpia

Annex II

Biografia sintetitzada d'Isaac Newton

La revolució científica del Renaixement va començar amb Copèrnic, Galileu i Kepler però qui la va portar al punt més àlgid fou el científic britànic Isaac Newton (1642-1727), que a dia d'avui és considerat com un dels científics més importants de la història de la humanitat per les seves aportacions a les matemàtiques, l'astronomia i l'òptica. La contribució més notable de Newton va ser en el camp de la física fins al punt de que la física clàssica rep el nom de física Newtoniana. A partir dels estudis que va fer Galileu sobre el moviment i les lleis Keplerianes sobre les òrbites dels planetes, Newton va formular les lleis fonamentals de la dinàmica, la llei d'inèrcia, proporcionalitat de la força i acceleració i el principi d'acció reacció, i va deduir la llei de la gravitació universal. Va relacionar matemàticament la força i el moviment, cosa que permetia explicar i preveure la trajectòria de qualsevol cos, com l'òrbita de Mart, d'aquesta manera unificava la mecànica terrestre i celeste.

Tot i que Newton va néixer en una família de grangers, la seva mare el va enviar a la Universitat de Cambridge ja que demostrava una gran intel·ligència. Mentre estudiava, Newton, havia de treballar per pagar-se els estudis. Isaac Newton no era un estudiant excel·lent, però va aprendre i assimilar els coneixements científics del segle XVII. Després de graduar-se, es va orientar en la investigació de física i matemàtiques. Quan tenia 29 anys ja havia formulat les teories que apuntaven el camí de la ciència moderna i també havia obtingut una càtedra a la Universitat de Cambridge.

Les aportacions que ha fet Isaac Newton a la ciència són molt notables en el camp de la física i més concretament en el camp de l'òptica ja que va explicar la composició de la llum blanca, va formular una teoria sobre la naturalesa corpuscular de la llum, va construir el primer telescopi reflector....



Fig65: Estatua d'Isaac Newton que es troba a Trinity College/

<https://www.biografiasyvidas.com/monografia/newton/fotos2.htm>

AnnexIII

amaina

Amaina Systems, s.l.
c./ Juan Pradillo 18
28039 - Madrid
www.amaina.com

Factura Número 2017 / 00433

Madrid, 01 de enero de 2007

Código	Descripción	Importe
esp1400	Espejos para telescopio 1400/150	42,00€
Suma 42,00€ Comisión Reembolso 7,00€ Gastos de envío 10,00€ Total Iva Incluido 59,00€		
		I.V.A. (21%) 10,24€
		Base Imponible 48,76€

Amaina Systems, s.l. / Juan Pradillo 18 / 28039 Madrid / C.I.F. ES-B83799973 / Telf. 914502330

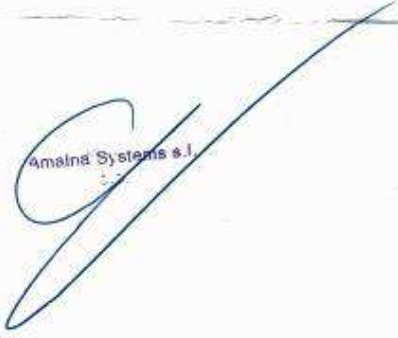
Annex IV

amaina

Amaina Systems, s.l.
c./ Juan Pradillo 18
28039 - Madrid
www.amaina.com

Factura Número 2017 / 00427

Madrid, 29 de marzo de 2017

Código	Descripción	Importe
OSPBC-125-4	Ocular Super Plössl Advance B&Crown 4 mm	48,74€
		
	Suma	48,74€
	Comisión Reembolso	
	Gastos de envío	
	Total Iva Incluido	48,74€
	I.V.A. (21%)	8,46€
	Base Imponible	40,28€

Amaina Systems, s.l. / Juan Pradillo 18 / 28039 Madrid / C.I.F. ES-B83799973 / Telf. 914502330

Annex V

BAUHAUS

TIENDA 804
PARC COMERCIAL MAS GRI
PARCELA C C/VICTORIA GASTEIZ
17003-GIRONA
GIRONA
Tel. 972 414222
WERKHAUS SL. SCS
NIF D59474577

DATA DE LLIURAMENT=DATA DE FACTURA
FACTURA SIMPLIFICADA

4 * 5,65 EUR/PCE
BARRA TUBO COBRE 22,60 1
0,023 * 47,65 EUR/KGM
TUERCA PALOMILLA 1,10 1
2 * 3,99 EUR/PCE

TORNILLO P/METAL 1,53 1
0,006 * 23,95 EUR/KGM
ARANDELA ESTRELLA 0,14 1
0,047 * 21,95 EUR/KGM
TORNILLO P/METAL 1,03 1
SPRAY DECO MATE 8,50 1
MUELLE HILO 2,99 1
0,027 * 16,80 EUR/KGM
TUERCA HEXAGONAL 0,45 1
SPRAY DECO MATE 8,50 1
3 * 2,15 EUR/PCE
5 CLIPS PARA TUBO DE 6,45 1
Total en EUR 61,27

MANXA BANYOLES
Av/ Paisos Catalans, 92
Banyoles
17820 (Girona)
972570182
DETALL AGUSTI 1876 SL
B55222178

16/09/2017 10:22:19
FACTURA SIMPLIFICADA : 2017/T0061/00031942

QUANT	DESCRIPCIO	DESC	IMPORT
1	672685-BROCA HSS-R- 3,0X33X61 2U	0 %	2,25
1	672598-BROCA HSS-R- 2,0X24X49 2U	0 %	2,10
TOTAL A PAGAR:			4,35
TOTAL ENTREGAT:			10,40
A TORNAR:			6,05

(IMPOSTOS INCLOSOS)

DETALL DE PAGAMENTS

EFFECTIU	4,35	
DESGLOSAMENT IMPOSTOS		
BASE	QUOTA	TOTAL
3,60	21,00% 0,75	4,35

BIGMAT MATERIALS BANYOLES
SUMINISTROS AMPURIABRAVA SA
A17118035
C/SANT ANDREU, 103-111
POL.INDUSTRIAL DEL TERRI
17834 PORQUERES
Tel.: 972571817 Fax: 972580940
info@bigmat.cat www.bigmat.cat

0 - CLIENTS COMPTAT
CIF: 430000000

DATA: 29/03/17 Pàg: 1/1

FACTURA 171003647

ARTICLE	DESCRIPCIO	QUANT.	PREU	DTE.	IMPORT
83018	Tub PVC Ø200x1000mm Multicapa Serie B	1.00UT	18.4400	30	12.91

irona Tom 540, Llibre 443, Secció 3a, Foli 45, Full 7712, Insc. 1-10-1986

Base Bruta	Base	IVA	Rec. Equiv.	TOTAL
12.91	12.91	21%	2.71	15.62 €

Annex VI

LP00081612538622

PRO-FORMA INVOICE

Airwaybill No: LP00081612538622 From: CHINA
 Date: 2017/9/13 14:17:55 To: SPAIN

Shipper's company: Consignee's company:
 KAI XIN MA
 KAI XIN MA
 19430 GUANG CAI XIN TIAN DI
 9335 NAN SHAN DA DAO
 HONG KONG

Phone: .
 Fax: .
 Zip code: .

NO. OF PKG (S)	UNIT TYPE	DESCRIPTION OF GOODS	Price(USD)	Amount(USD)
1	PCE	TELESCOPE ACCESSORIES	21.00	21.00
Total Packages: 1		Total Weight: 0.55 kgs.	Total (USD):	21.00

I/we hereby certify that the information on this invoice is true and correct and that the contents of this shipment are as stated above.

SHIPPER'S SIGNATURE & STAMP DATE
 寄件人签字/盖章: 签字日期:

NOTE: WE CERTIFY THAT THE ABOVE COMMODITY (COMMODITIES) IS (ARE) MADE IN CHINA.

BAUHAUS

TIENDA 804
 PARC COMERCIAL MAS GRI
 PARCELA C C/VICTORIA GASTEIZ
 17003-GIRONA
 GIRONA
 Tel. 972 414222
 WERKHAUS SL, SCS
 NIF D59474577

DATA DE LLIURAMENT=DATA DE FACTURA
 FACTURA SIMPLIFICADA

0,061 *	5,95 EUR/KGM	
TORNILLO CABEZA CUAD		0,36 1
2 *	1,32 EUR/PCE	
TAPON COBRE 300-CU		2,64 1
0,030 *	10,50 EUR/KGM	
ARANDELA		0,32 1
Total en EUR		3,32

