

ÍNDEX

1. Introducció	3
2. Funcionament dels miralls	4
3. Tipus de miralls	6
3.1. Tipus de miralls per forma	7
3.1.1. Miralls plans	7
3.1.2. Miralls còncavos	8
3.1.3. Miralls convexes	10
3.2. Tipus de miralls per ús	11
3.2.1. Miralls decoratius	11
3.2.2. Miralls per a instruments òptics microscòpics	11
3.2.3. Miralls per a telescopis	12
3.3 Tipus de miralls per material	14
3.3.1. Vidre	14
3.3.2. Capa reflectant	17
4. Bibliografia	19

INTRODUCCIÓ.

Aquest treball és un petit repàs a totes les aplicacions i tots els detalls sobre els miralls.

Es repassen tant la composició, les propietats, la fabricació i els usos, intentant abarcar tants aspectes com ha estat possible.

De totes maneres no tot ha estat possible introduir-ho en aquestes fulles degut a la dificultat que suposa que alguns dels materials més usats són patentats i es comercialitzen amb el mateix nom de la marca, que es reserva el dret de guardar en absolut secret els processos concrets i les composicions.

De totes maneres espero que sigui una bona eina per tal de mirar els miralls amb altres ulls i aprendre més sobre aquest element a priori decoratiu.

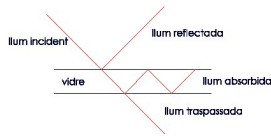
Almenys a mi m'ha servit.

• FUNCIONAMENT DELS MIRALLS.

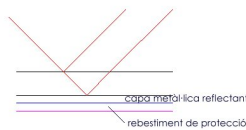
Per definició, un mirall és una làmina de vidre, revestida per darrera d'una capa reflectant, que forma imatges per reflexió dels raigs de llum que hi incideixen.

De fet, en un mirall com en tot cos la llum que incideix es refracta i es reflexa, és a dir, que una part de la llum és absorbida (normalment en forma de calor) i una altra part és reflectida cap a l'exterior, a part d'una altra part que travessa el material.

En el cas de la gran majoria dels miralls el funcionament és el següent: el raig de llum incideix sobre la superfície del vidre; una gran part es reflexa i la altra entra dins el material



En la fabricació del vidre la llum absorbida és molt petita o es pot arribar a considerar nul·la. Per tant, si el que a nosaltres ens interessa és reflectir el màxim de llum possible ens cal posar una barrera a la llum que traspassa el vidre, i aquesta barrera és una capa de plata, coure, alumini o algun altre material reflectant justament per afavorir la expulsió de llum cap a l'exterior



Per a una bona reflexió, la superfície necessita estar el màxim de polida que es pugui, per tal que els raigs reflectits, que han incidit en una direcció també surtin en una sola (el que s'anomena *reflexió especular*). En el cas que la superfície no sigui ben polida (rugosa) la reflexió serà difusa i el vidre ens semblarà translúcid.

• TIPUS DE MIRALLS.

Dins la immensitat dels diferents miralls existents podem fer múltiples classificacions. Per tal d'abarcant totes les aplicacions aquí representem algunes de les diverses classificacions, tant per forma, ús, tamany i material, centrant-nos en l'últim aspecte que és el que ens interessa.

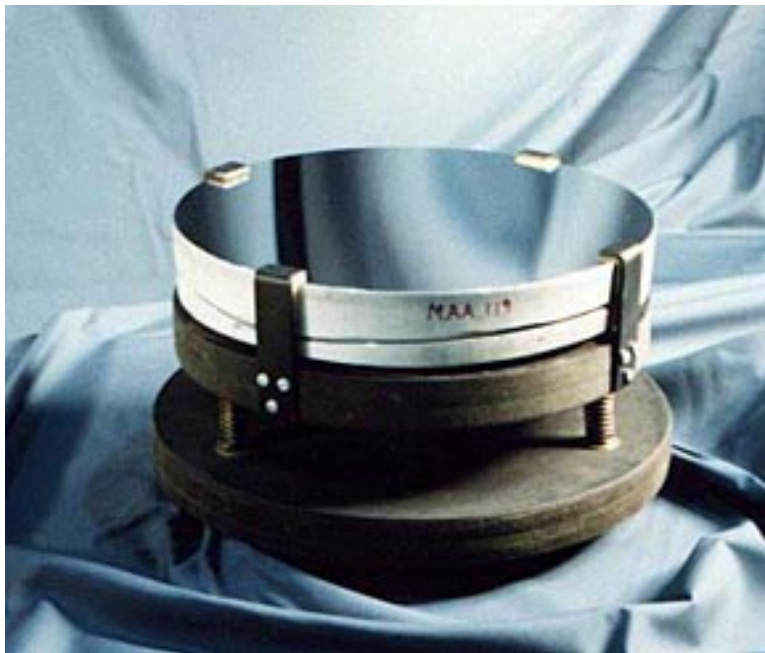


Fig. 3 Mirall de 180 mm de diàmetre en la seva cel·la per a un telescopi reflector tipus Newton.

3.1. TIPUS DE MIRALLS PER FORMA.

Dins el món dels miralls podem trobar-nos bàsicament amb tres tipus: els plans, còncaus i convexes.

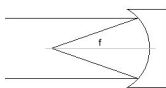
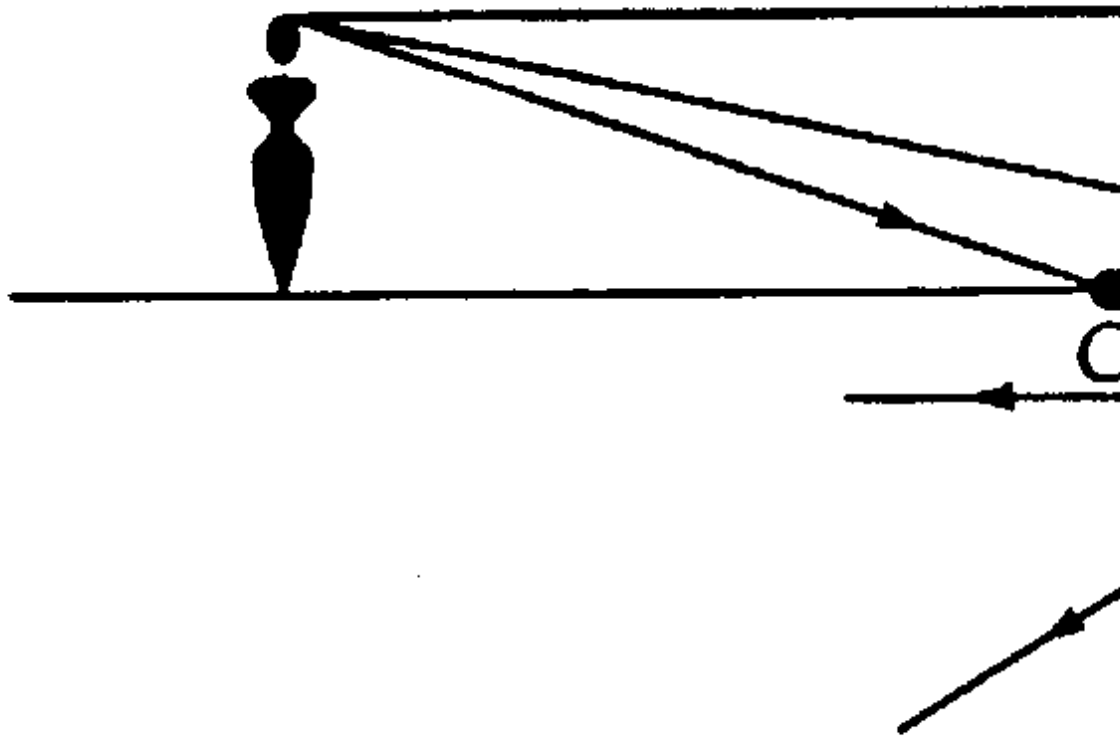
Cada un té un ús específic aprofitant les característiques reflectores de la seva forma. Així, un mirall pla (els més corrents) ens refracta un raig idèntic al que incidim (considerant absorció nul·la del raig de llum per part del vidre).

3.1.1 Miralls plans.

Els miralls plans són els més corrents (qui no té un mirall a casa?). Consten d'una làmina de vidre de diversa composició amb una làmina que sol ser d'alumini (tot i que també poden ser altres metalls reflectants) adossada a la part posterior tal i com representa la fig. 2. El seu funcionament bàsic està representat a la figura 4, on es representa com el raig incident i el reflectit són exactament iguals.

3.1.2 Miralls còncaus.

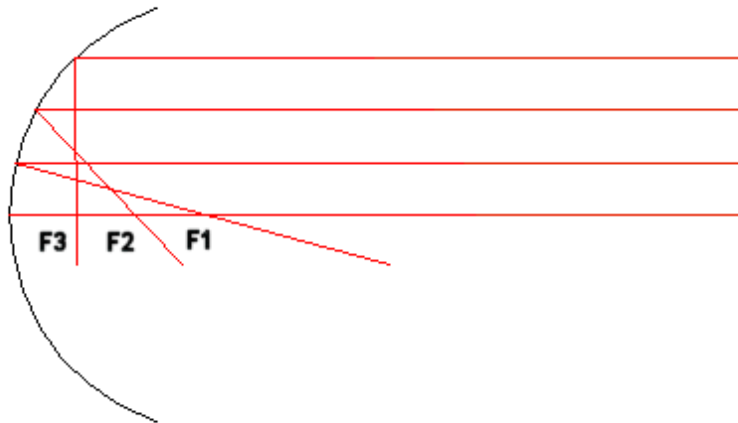
En els miralls còncaus es produeix una concentració del feix lluminós cap a un punt anomenat *focus*. La distància de la lent a aquest punt s'anomena *distància focal*, i és de vital importància el seu coneixement exacte per a l'ús en instrumentació.



En la figura 5 se'ns mostra com seria una imatge reflectida i que ha passat pel focus. Usant aquests tipus de miralls sempre s'obté una imatge invertida (que es pot corregir amb altres lents annexes), i a mesura que ens allunyem de la lent la imatge és progressivament més gran (augmenta). Aquests miralls són dels més usats en

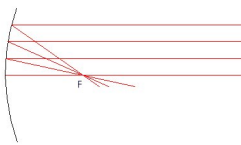
instrumentació tal i com explicarem més endavant, però ens aporten un dels problemes més grans que ens trobem en treballar amb aquests tipus de mirall.

En el mirall de la figura 6 es pot apreciar que la curvatura és esfèrica, però aquesta geometria fa que la llum que arriba en raigs paral·lels no es reflecti sobre un focus, sinó que cada raig es concentra en un focus diferent, que fa que la imatge esdevingui completament difusa



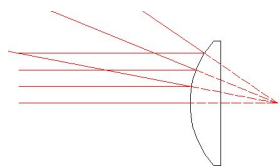
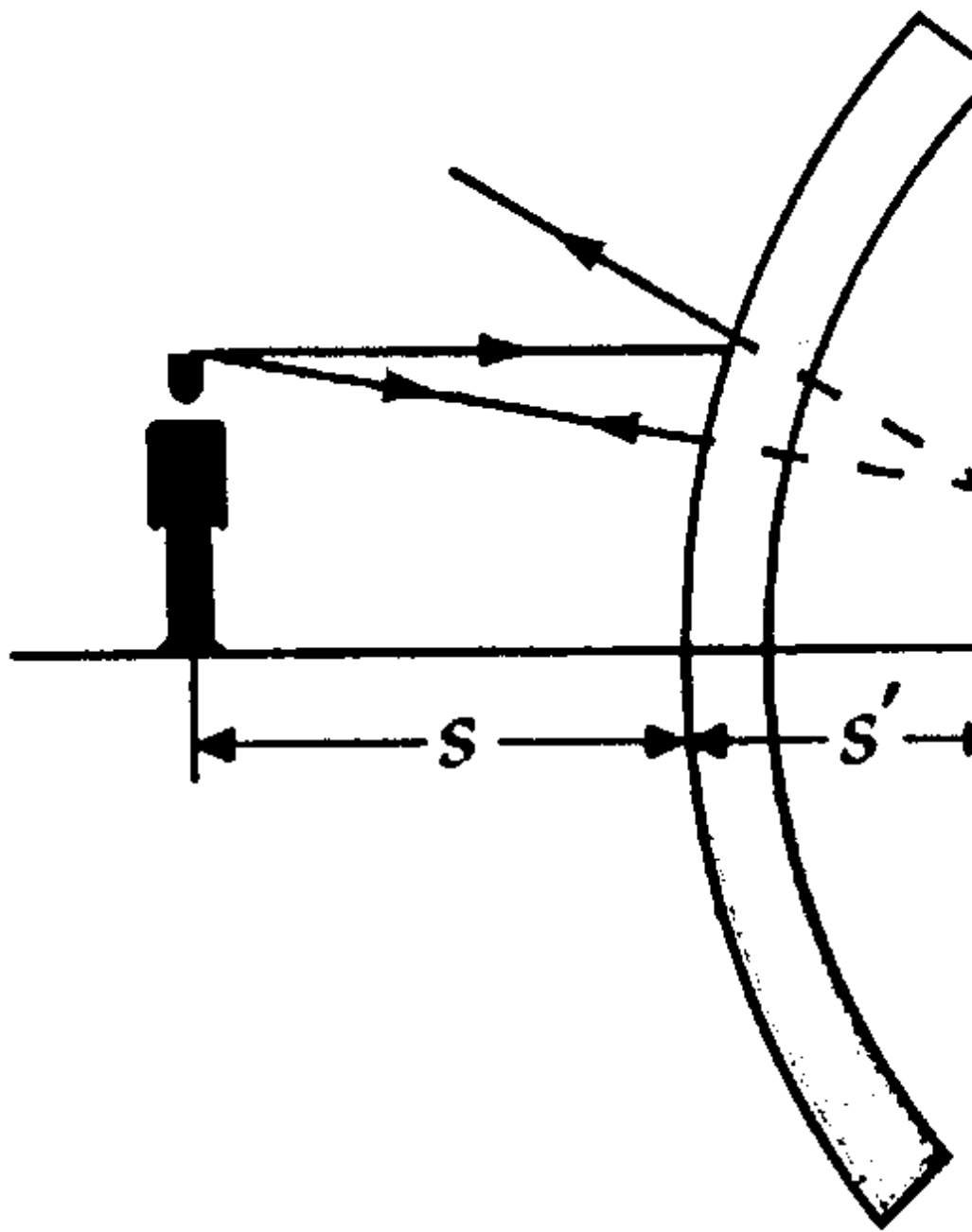
Per tal d'aconseguir un sol focus s'ha de fer servir una superfície parabòlica, ja que per definició és la superfície que té un focus exacte (com les antenes parabòliques). La complexitat de fer una superfície parabòlica és molts més important que per a fer una d'esfèrica, ja que el radi en el primer varia per a cada diferencial de superfície, mentre que en l'esfèric sempre és el mateix.

Si es treballa a una escala relativament reduïda es pot usar una superfície esfèrica ja que els raigs tenen focus molt junts i produeix una aberració esfèrica gairebé menyspreable.



3.1.3 Miralls convexos.

Aquests són el tipus de mirall menys usat tant en la vida quotidiana com en la instrumentació. Es seu funcionament és l'invers al dels miralls còncav: mentre aquells concentraven la llum aquests la dispersen. La dispersió dels raigs es produeix com si hi hagués un focus darrera la lent, fent servir una mecànica semblant als còncav parabòlics. De totes maneres aquesta imatge no es produeix, és una imatge virtual.



3.2. TIPUS DE MIRALLS PER ÚS.

Les condicions que ha d'aguantar un mirall poden semblar que no sigui res de l'altre món, però hi ha bàsicament tres usos per als miralls que suposen tres situacions completament diferents

3.2.1 Miralls decoratius.

Són els típics miralls plans que fem servir a casa nostra, al bany, al rebedor o els de les perruqueries. Son làmines de vidre sòdico-càlcic (veure apartat 3.3) amb un recobriment de coure o alumini a la part posterior (els miralls que tenen una imatge més marronosa són els de coure, i els normals són els de alumini).

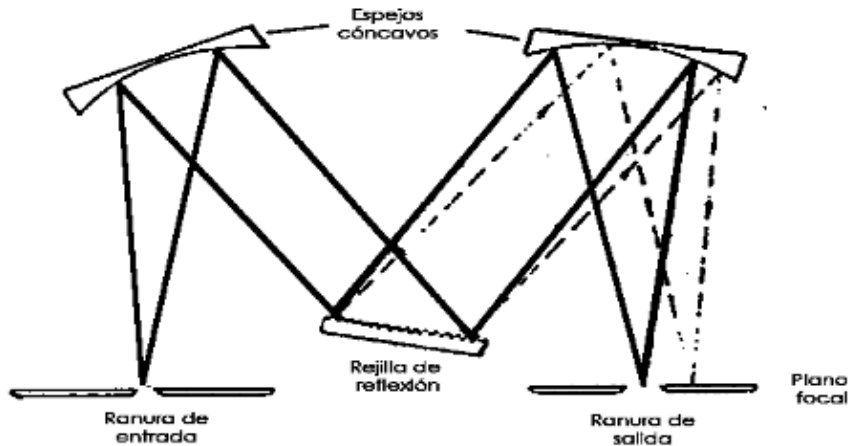
Solen ser miralls de fragilitat bastant alta i no es estrany trobar algun defecte en la seva superfície, tot i que a una escala bastant petita. No són miralls que aportin molta complexitat ni de fabricació ni de conformació.

Dins aquest apartat també podríem fer-hi cabuda els miralls dels retrovisors dels cotxes, els quals poden tenir una lleugera curvatura còncava o convexa, i normalment tenen un petit tractament tèrmic per tal que la seva resistència i tenacitat augmentin.

3.2.2. Miralls per a instruments òptics microscòpics.

En aquest apartat sobretot s'hi inclouen els espectrofotòmetres, aparells de anàlisi instrumental que aprofiten la emissió i absorció de determinades longituds d'ona per determinats substàncies o elements.

Els àtoms emeten o absorbeixen en longituds d'ona molt específiques, mentre que les substàncies ho fan en bandes més amples; per a dur a terme aquests anàlisis necessitem treballar en unes longituds d'ona específiques. Per tal d'obtenir-les usem el monocromador, en el qual els miralls són elements completament imprescindibles



En aquest cas s'usen dos miralls còncaus, però com que tenen uns tamanyes de pocs mil·límetres poden ser tranquil·lament esfèrics. La xarxa de reflexió és la que s'encarrega de separar les diferents longituds d'ona.

Vist això, per a instruments òptics, la majoria dels quals treballen en escales microscòpiques no necessitem materials gaire especials. La majoria solen ser de vidre sòdico-càlcic o Pyrex ® en el seu defecte (veure apartat 3.3) amb recobriments d'alumini a la art posterior (a la part anterior en el cas que siguin miralls corbats relativament gruixuts).

3.2.3. Miralls per a telescopis.

Dins el món de la astronomia hi ha dos tipus de telescopis: els refractors i els reflectors, i una mescla dels dos anomenats catadiòptrics.

Els refractors són els telescopis que estem més acostumats a veure, compostos per una lent principal i un ocular, on veiem la imatge per l'extrem inferior del tub on estan inserides les lents.

Els reflectors, com el que tenim a la figura 12 i són els que ens interessen funcionen per una mecànica completament diferent. El raig de llum entra al tub, i un cop arriba al final es troba amb un mirall còncau parabòlic. El raig és concentrat a un punt que mitjançant un mirall pla inclinat 45° surt a l'exterior a través d'un orifici on hi ha l'ocular, que és per on mirem.



En aquest cas el mirall sí que necessita que sigui parabòlic, ja que fem servir tota la superfície i tamanyos considerables (es poden arribar a fer telescopis de 8 metres de diàmetre amb una sola peça, i 10 o més amb diverses peces combinades).

En aquest instrument ja és més complexa la utilització d'un o altre material, ja que els telescopis reflectors més petits tenen uns 10 cm de diàmetre, i poden arribar a fer uns quants metres. Per simplificar podríem fer un petit esquema tal com el següent.



El vidre sòdico-càlcic és el típic vidre verd que tots estem acostumats a veure a tot arreu (aquell que si es mira de costat és verd).

El vidre boro-silicat és més conegut per Pyrex [®], tot i que també es comercialitza com a Duran 50 [®] segons fabricant.

El vitroceràmic és vidre que ja pot ser sòdico-càlcic o boro-silicat, però ha rebut un tractament tèrmic per tal de generar cristalls al seu interior que milloren algunes propietats, bàsicament sol ser molt més resistent i té un coeficient de dilatació tèrmica gairebé 0. És el material que es fa servir tant per la superfície d'algunes cuines i per a telescopis espacials (sondes planetàries, telescopis en òrbita...).

3.3. TIPUS DE MIRALLS PER MATERIAL

Al llarg de tota la explicació hem vist bastant per sobre diversos materials per a diversos usos, a vegades completament diferents, tot i que en tots ells la missió és reflectar la llum que hi incideix.

En els miralls ja hem comprovat que consta bàsicament de dues parts: el suport (el vidre) i la capa reflectant.

3.3.1. Vidre

Un vidre és un estat molecular amorf, pel qual l'element en estat líquid és refredat a una velocitat tal que no té temps a cristal·litzar. Justament, la transparència dels vidres la dona aquest estat amorf. Així podríem arribar a fer vidres de metall, això si, si refredem a una velocitat de $1.000.000\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{s}$!!! els vidres també s'anomenen líquids sobrefredats, ja que congelem el material en estat de complet desordre.

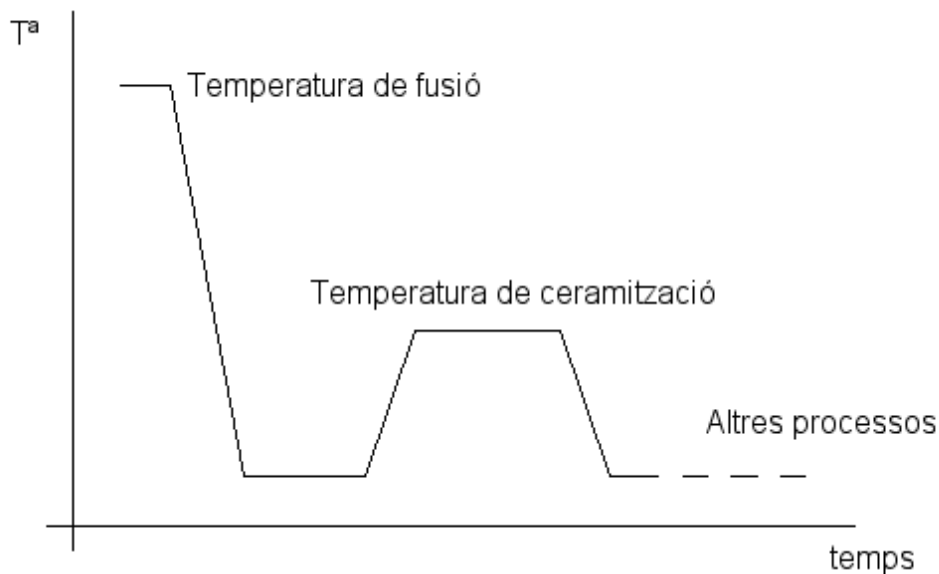
De totes maneres, els materials que donen més bon resultat són els òxids de silici (sílice), ja que mantenen la forma amorfa encara que refredin a l'aire. El sílice forma una xarxa de tetràedres on el centre és el silici i els quatre vèrtex són àtoms d'oxigen. De fet, el sílice és una macromolècula de $[\text{SiO}_4]_n^-$.

Tot i que un vidre de sílice pur aguantar temperatures de treball molt altes i té un coeficient de dilatació tèrmica molt baix és un material molt difícil de conformar, per això no se fa servir per a miralls (si per a usos que requereixin aquestes propietats com reflectaris en forns).

Per tal d'obtenir les propietats que requerim s'afegeixen certes substàncies durant la fabricació, per així obtenir diferents compostos i els vidres que hem anat anomenant. De totes maneres, la fabricació de la substància en si és la mateixa per als diferents tipus de vidre: en un forn es barregen la sílice en forma de sorra, carbonat sòdic i sulfat sòdic en forma mineral i una part de calç i/o guix, a part de les substàncies que volguem afegir. Un cop fosa tota la pasta se li pot donar forma en motlles adequats.

Alguns dels vidres que hem usat són:

- **sòdico-càlcic**: és el vidre comú, del que estan fetes les finestres, la majoria de miralls quotidians, etc. A part de la sílice, està compostat per òxids de calci i sodi. Els ions Ca^{++} i Na^+ aporten viscositat al vidre, i aquest pot ser conformat en millors condicions i a una temperatura més baixa alhora que el fa més fràgil.
- **boro-silicats**: en aquest cas s'addicionen òxids de bor (12,6 %) a la sílice, a part de traces d'altres compostos (Na_2O 4,4%, Al_2O_3 1,8%, CaO 0,3%). Es caracteritzen pel baix índex de dilatació tèrmica que a més a més el fa molt resistent a la acció del foc. Els noms amb els que es comercialitza són Pyrex® i Duran 50®, tot i que el primer està molt més estès que el segon.
- **Vitroceràmic**: en realitat una vitroceràmica (que tan pot ser la de la cuina com la de un telescopi gegant) és un vidre al qual se li ha fet un tractament tèrmic. Aquest tractament consta bàsicament en escalfar el vidre (en estat amorf) fins a una temperatura en la qual comencen a aparèixer petits cristalls en la estructura del vidre, que a primer cop de vista fan que es torni més opac i es contragui una mica. Aquests cristalls són els responsables del coeficient d'expansió tèrmica zero.



El tractament tèrmic de les vitroceràmiques és un secret ben guardat per les empreses del sector, ja que aporta unes propietats increïblement beneficioses al material. Aquest és el cas del Zerodur[®], un material patentat i dissenyat per la empresa alemanya Schott a mitjans anys 60'. El vidre (de composició indeterminada però bàsicament de sílice) un cop fos a 1.600 °C es posa en motlles i es deixa refredar ràpidament.

En segon lloc se sotmet el material a la ceramització, on el vidre cristal·litza parcialment. Per aconseguir-ho, Schott va dissenyar un delicat procés tèrmic que consisteix en posar el material dins un forn sotmès a un cicle tèrmic molt controlat que dura de 3 a 4 mesos però que pot arribar fins a un any, tinent en compte que la majoria d'aquest material va dirigit a telescopis gegants. Aquesta llarga duració és imprescindible per tal de mantenir la homogeneïtat obtinguda per Schott.

Per finalitzar el procés, se sotmet el material a un altre procés tèrmic per tal d'eliminar les tensions internes del material a una temperatura inferior al procés precedent, que consta el revingut. Un cop finalitzat, les peces només els cal tallar i polir a la mida desitjada.

Un cop vistos els principals tipus de vidres per a miralls la elecció per a cada aplicació es pot dur a terme bastant bé, però alhora s'ha de tenir en compte que el Pyrex[®] val 5 vegades més que el vidre convencional sòdico-càlcic, i el vitroceràmic 5 vegades més que el Pyrex[®]. Ara cal escollir.

3.3.2. Capa reflectant.

La capa reflectant és la que a termes pràctics realitza la reflexió. Aquesta capa se sol posar en la part posterior dels miralls plans, però en els corvats (còncavs o convexes) es fa sobre la superfície.

Així, si el reflectant és a la superfície perquè treballar amb vidre, si és tant delicat i engorros de treballar-hi? Doncs degut a que necessitem una superfície completament llisa i polida per tal de poder aprofitar al màxim la potència de la lent, ja que els miralls corvats (sobretot els còncavs) s'usen per fins tècnics molt sensibles (militars o astronòmics).

El reflectant és una capa d'un metall reflectant en la part posterior. Aquest metall pot ser plata, alumini o coure bàsicament. Aquest últim se sol fer servir més en decoració.

La plata és potser la més fàcil de fer servir, però alhora també la que pitjors resultats dona. El procés consta en

fer precipitar la plata d'una solució de nitrat de plata sobre la cara del vidre en la que la volem dipositar. Aquest procés és bastant engorros i a més hi ha el problema que el platejat dura poc degut a la humitat i la contaminació del medi. Això es pot salvar en els miralls que fem el platejat a la part posterior, ja que podem afegir-hi una capa protectora, però no en els que el reflectant queda al aire.

Així doncs ens queda l'aluminitzat, que és el mètode que s'usa més en la actualitat, tant en miralls casolans com en telescopis astronòmics. El procés és el mateix sigui quin sigui el metall a dipositar, i consta de vaporitzar el metall a través d'una corrent elèctrica en una atmosfera de buit, per tal que el metall es dipositi sobre la superfície del vidre.



4. BIBLIOGRAFIA

- *Bibliografia escrita:*

Nueva Enciclopedia del Mundo. Volumes VIII i XIX. Edició 1.989. Edicions Durvan S.A.

Diccionario Enciclopédico VOX 24. Volum 16. Edició 1985. Biblograf, S.A.

Observar el cielo II. Editorial Planeta, S.A. 1998.

- *Bibliografia electrònica:*

Cielo Sur

<http://www.galeon.com/cielosur/optica.htm>

Schott

<http://www.schott.com/>

[IAC, Instituto de Astrofísica de Canarias](#)

<http://www.iac.es>

• *Altres recursos:*

Dades compaginades amb apunts de les assignatures Ampliació de física (1r ETIQU) i Nous Materials (3r ETIQU)

Figures

1, 2, 7, 8, 10, 13, 14 realitzades amb AutoCad 14.

4, 6 realitzades amb Paint Shop Pro 4.2

3, 15 fotografies pertanyent a la web <http://www.galeon.com/cielosur/optica.htm>

5, 9, 11 Nueva Enciclopedia del Mundo. Volumes VIII i XIX. Edició 1.989. Edicions Durvan S.A.

12 Observar el cielo II. Editorial Planeta, S.A. 1998.

17

Fig.1

Fig.2

Fig. 4

Fig. 5

Fig. 6

Fig. 7

Fig. 8

Fig. 9

Fig. 10

Fig. 11

Fig. 12

Fig. 13

Fig. 14

Fig. 14. Campana de aluminitzat on es col·loquen les peces òptiques amb la tapa oberta.

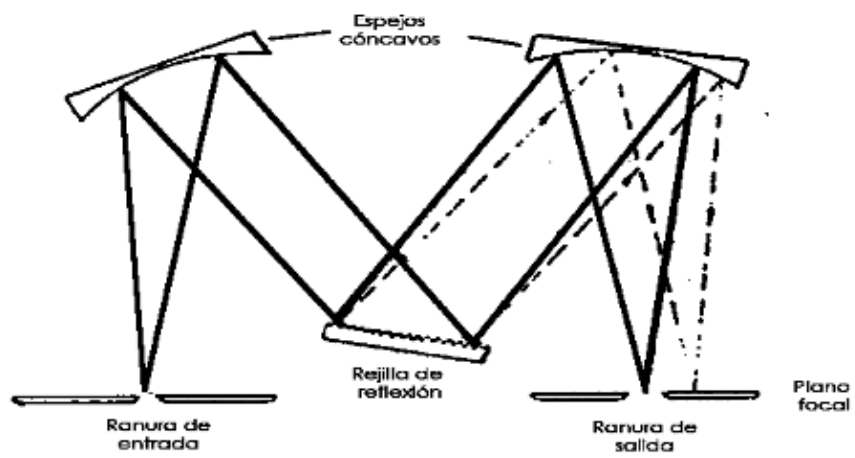


Fig. 15 dos miralls per a un telescopi. A l'esquerra un secundari pla. Pel seu gruix també s'ha aluminitzat la part anterior, com el mirall còncau parabòlic de la dreta