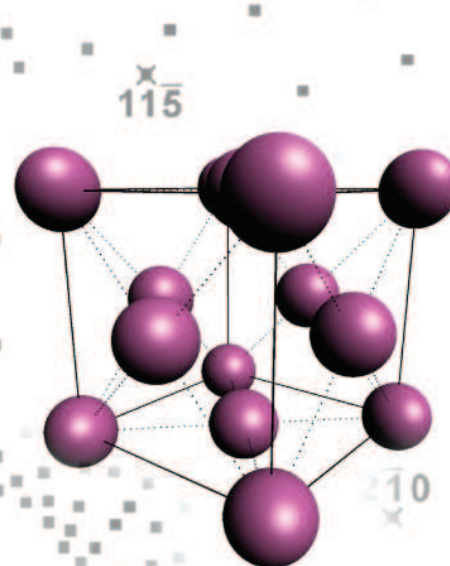
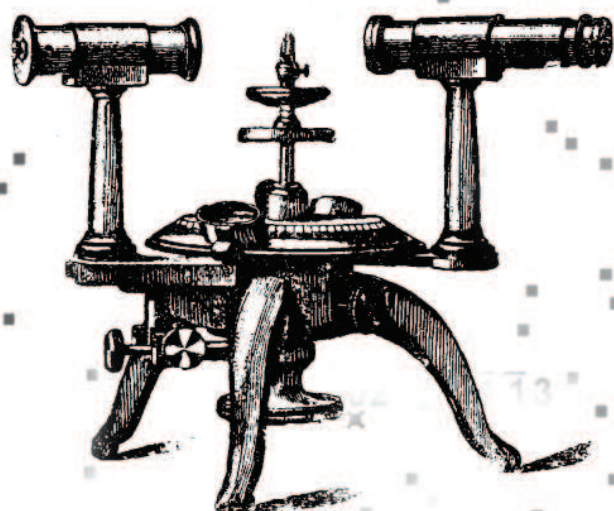




Breu Introducció a la Cristal·lografia

expoMINER
Saló internacional de minerals, fòssils i joieria
Barcelona

Presentació.....	5
Què estudia la Cristal·lografia?	6
Què és un cristall?	6
La forma dels cristalls	9
Unitat estructural	9
Cel·la unitària	9
Com es “construeixen” els cristalls?	10
Sistemes cristal·lins	10
Simetria	12
Elements de simetria	13
Centre de simetria	14
Eixos de simetria	14
Plans de simetria	16
Eixos de rotació-conversió	17
Exemples de cristalls reals	18
Glauberita	18
Almandina	20
Vesuvianita	22
Macles	24
Tipus de macles	24
De contacte.....	24
Macles múltiples	26
Polisintètiques	
Cícliques	
Anem a fer cristalls	28
Sal de la Rochelle o de Seignette	28
Alum de crom	30
Ferricianur potàssic	31
Acetat de coure hidratat	31
Cromat de sodi i liti hexahidratat	31
Models Cristal·logràfics	32



www.iycr2014.org
pagines.uab.cat/cristallografia2014



Reconeixement (Attribution): El material pot ser distribuït, copiat i exhibit per terceres persones si es mostra en els crèdits el nom de l'autor original.

Compartir Igual (Share alike): El material d'aquesta obra pot ser modificat i distribuït però sota la mateixa llicència que el material original.

No Comercial (Non commercial): El material original i els treballs derivats poden ser distribuïts, copiats i exhibits mentre el seu ús no sigui comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/es/deed.ca>

Octubre 2014 - v. 1.0

Coordinació, textos i disseny

Joan Rosell

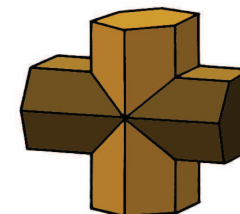
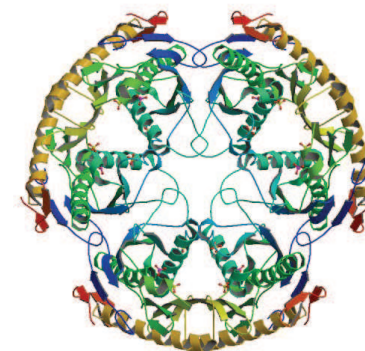
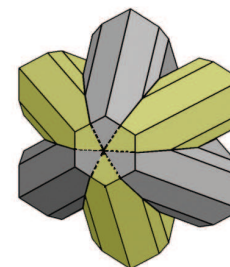
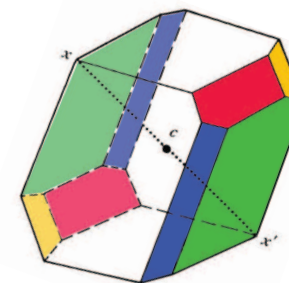
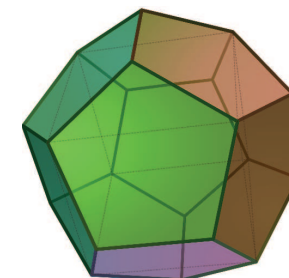
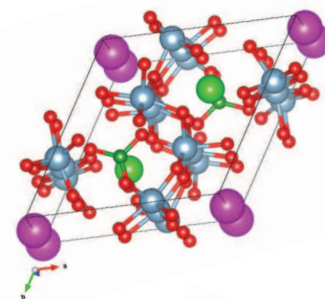
info@rosellminerals.com



Amb el suport de:



www.minercat.com



S embla ahir que vam celebrar les primeres edicions de l'Expominer, el Saló de Minerals, Fòssils i Joieria organitzat per Fira de Barcelona. Aquest saló ja s'ha consolidat com un dels principals referents a Europa per a la promoció i la difusió de la geologia i la mineralogia. Avui, Expominer vol seguir avançant en aquest procés de transferència de coneixement, projecció i difusió de la Ciència i del col·leccionisme.

Aquest any, a més, tenim una raó de pes per presentar-vos aquest manual: l'**Any Internacional de la Cristal·lografia 2014 (IYCr2014)**. Es commemora el centenari del descobriment dels raigs X i es celebra el 400 aniversari de l'observació de la simetria dels cristalls de gel realitzada per Kepler. Esperem que aquest manual sigui una eina útil per aprofundir en aquest món dels cristalls.

Expominer, a més de ser una rellevant plataforma dinamitzadora del comerç i el col·leccionisme, s'ha afermat com la trobada de referència per a la difusió de la cultura i l'afició mineralògica actuant com a nexa i catalitzador de l'ecosistema comercial, científic i docent d'aquesta apassionant matèria.

Esperem que gaudiu de la fira, de les activitats que hi farem, de les meravelles exposades. Si amb això aconseguim que el públic i, en especial, els nostres estudiants, s'acostin una mica més als secrets millor guardats de la naturalesa que ens envolta ens donarem per ben satisfets.

Benvinguts a l'apassionant món de la geologia, la mineralogia,
la paleontologia i, per descomptat, de la cristal·lografia!

Benvinguts a Expominer!



Roser Soley Castellví
Directora Expominer
Fira de Barcelona

L a cristal·lografia és una d'aquelles disciplines de la Ciència que tenen tradicionalment un peu en la química, la física i la mineralogia. Avui dia però el camp d'aplicacions és molt més extens. La biologia o la ciència dels materials són els nous camps on les seves aplicacions han trobat cabuda.

Amb aquest senzill manual introductori només pretenem que els alumnes de cursos més avançats s'apropin a aquesta matèria. No volem que es relacioni la "crista", com sovint l'anomenen els estudiants, amb tedioses fórmules, matrius i conceptes més que abstractes. Si volem que els nostres estudiants s'interessin per temes més complexos, cal primer donar una visió el més atractiva possible, sense perdre rigor científic. Que puguin aplicar el que veuen en el paper a casos reals, dels que la Natura ens ofereix. Més endavant ja publicarem un manual més profund i complex que s'assenti sobre unes bases de coneixement mínimes.

Des d'entitats com el Grup Mineralògic Català s'intenta fer compatible la recerca de minerals i el respecte pel medi. També fer-ne difusió per a que nous aficionats/investigadors, d'una manera ordenada i organitzada, estableixin les bases de les futures col·leccions i treballs. Cal tenir present que encara no està tot investigat i que tenim una riquesa mineralògica per descobrir i *redescobrir*.

Les fires de minerals com MINERALEXPO BARCELONA-SANTS, MINERALEXPO SANT CELONI o EXPOMINER són aparadors més que indicats per a poder tenir a prop (i fins i tot en *propietat*) aquestes meravelles que la natura ens ofereix i despertar el "cuquet" per una afició que ens pot omplir de satisfaccions i enriquir el nostre bagatge cultural.

Sou vosaltres els que podeu acostar els minerals i els cristalls als més joves i per això us oferim aquest manual a fi que serveixi de plataforma per a desenvolupar els temes que despertin el vostre interès.



Joan Rosell Riba
Grup Mineralògic Català
RosellMinerals.com

QUÈ ESTUDIA LA CRISTAL·LOGRAFIA?

Segons la definició del Diccionari de la Llengua Catalana (DIEC2):

f. [GL] [GLG] Ciència que estudia la matèria cristal·lina, l'estructura interna, la morfologia, les propietats dels cristalls i llur classificació.

La combinació d'aquesta branca de la ciència amb d'altres disciplines acadèmiques com la mineralogia, l'òptica, la química, la farmàcia o la física, entre moltes d'altres, ha permès que avui dia puguem tenir una visió molt més real del que és la matèria i com es comporta. Això ha permès desenvolupar gran nombre d'aplicacions a la nostra vida real: nous medicaments, semiconductors, nanoestructures cristal·lines...

QUÈ ÉS UN CRISTALL?

La definició de cristall ha estat un tema molt discutit al llarg dels segles. Podem resumir-lo d'una manera prou eficaç utilitzant l'aspecte del que està constituïda la matèria, el àtoms.

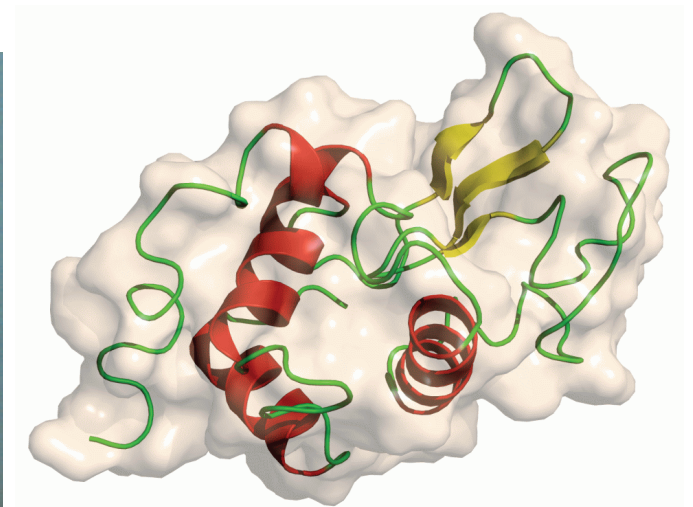
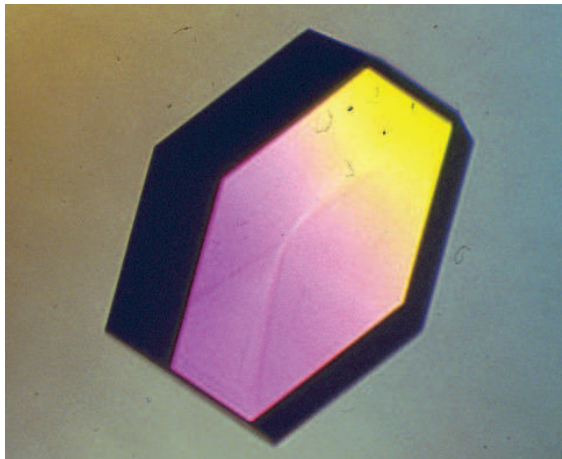
*Podem dir que un cristall ideal és un sòlid homogeni compost d'àtoms que es disposen en un **model** que es repeteix **periòdicament** en les tres dimensions de l'espai a llarga distància.*

Aquest **model** pot ser un sol àtom, un grup d'àtoms, una molècula o un grup de molècules. El que és important és el fet de la seva repetició, la seva periodicitat en la disposició d'aquests "models".

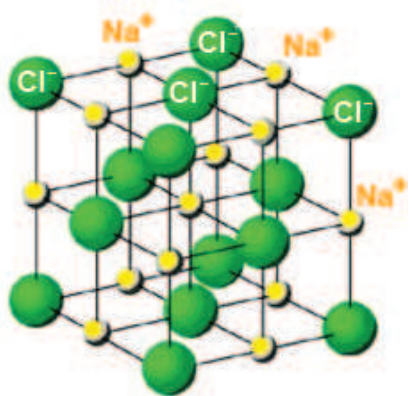
Cristall d'un enzim com la lisozima.

La lisozima és un enzim present en les llàgrimes i la saliva on actua com una barrera davant les infeccions.

En aquest cas el "model" repetit és una molècula molt complexa com la de la imatge de la dreta.



Un altre exemple on podem veure la **peridiocitat** de la qual parlem és el clorur sòdic, la sal de cuinar. Els cristalls d'halita (sal comuna) contenen nombrosos ions negatius de clor i positius de sodi. Es mantenen junt per atraccions electrostàtiques, enllaç iònic. Cada anió de clor està rodejat per sis cations de sodi i cada sodi per sis clors, en disposició d'octaedre. Quan reaccionen aquests ions, si tenen prou temps, formen aquestes estructures cúbiques. Aquesta estructura atòmica es reflecteix en el món macro, així l'halita en ser exfoliada o quan cristal·litza presenta formes cúbiques. A **llarga distància** vol dir que es desenvolupa amb un gran nombre d'unitats repetides, omplint l'espai adjacent.



En aquest exemple veiem l'estructura de l'halita. El “model” repetit són els ions de clor i sodi, en una disposició de mínima energia i d'equilibri de càrregues. L'estructura primordial es repeteix per tota l'estructura.

La paraula cristall ve del mot grec *krystallos*. Inicialment el nom provenia de “Kryos” que significa fred, al·ludint a la formació del gel a partir de l'aigua. Posteriorment el nom va canviar de connotació en referir més aviat a la transparència, de manera que els grecs van donar el nom “krystallos” al quars.

La paraula “quars”, per descriure el mineral, apareix a la meitat del s. XVIII, i sembla que el seu origen ve de la paraula alemanya “quarz” i aquesta de l'eslau “twarc”, que vol dir “dur”. Sèneca (4 aC – 65 dC) ens escriu: *“El cristall està format per aigua celeste i una mica de terrestre, que s'ha solidificat al llarg d'una llarga i tenaç gelada i l'ha anat fent més i més dens en comprimir-se progressivament fins treure tot l'aire i ha convertit l'humitat en roca”*. No és estrany que Sèneca, Plini el Vell o Paracels donessin per bona aquesta idea de l'aigua gelada i fos acceptada durant segles, ja que els millors cristalls de quars hialí provenen de les altes muntanyes on la neu hi és molt present. Els alquimistes i esotèrics n'eren molt fets a aquesta idea dels elements primigenis convertits en roca per les forces de la natura.

SÒLIDS I CRISTALLS

Ara ja saps que...

Un cristall és un sòlid definit per cares que formen poliedres i que està format per la repetició periòdica, en les tres dimensions de l'espai, d'àtoms o molècules.

Tanmateix, la paraula "cristall" ens pot portar a diverses conclusions errònies. És un cristall la bola dels endevins? És un cristall un got de vidre? I una pedra preciosa d'un anell? Un cristall presenta una forma delimitada per plans o cares que formen poliedres definits.

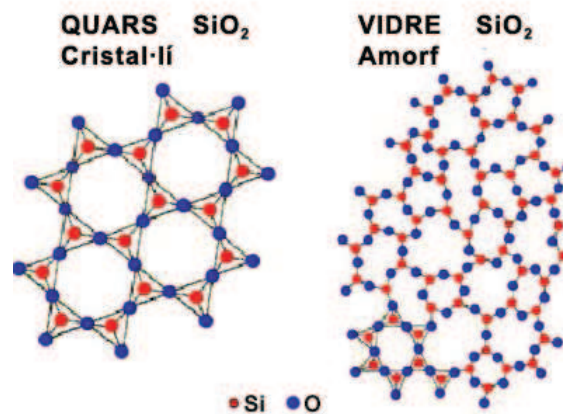
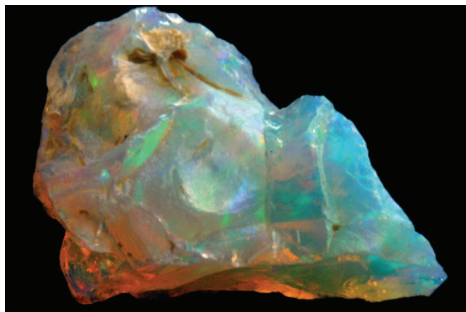
Per tant, la bola de l'endeví o la pedra preciosa, tot i que poden haver estat fetes d'un mineral com el quars o el beril, no són cristalls, encara que tinguin en el seu interior una peridiocitat fixada.

El cas del vidre ens introdueix l'estat **amorf**. El vidre s'obté de la fusió de diversos compostos, el principal dels quals és la sorra: granets de quars. Quan fonem el quars per fer vidre, les estructures del mineral perden la peridiocitat, ja no segueixen un patró repetitiu i ordenat, sinó que es disposen de forma aleatòria formant una massa amorfa: el vidre. Hem de pensar que el vidre és en realitat un fluïd, un líquid extremadament viscos i que si disposéssim de prou temps (molts segles) podríem veure com flueix, com es *mou*.

Hi ha minerals com l'**òpal**, una varietat de quars, que no presenten una estructura definida i que es consideren amorfs. Tanmateix, hi ha científics que proposen que l'òpal té una certa peridiocitat en algunes zones, però no se'l pot considerar cristal·lí.



Òpal. Austràlia. Foto: wikipèdia.



La distribució ordenada i periòdica dels àtoms en un cristall és la característica més important per definir-lo com a tal. Però aquest ordre és degut a alguna raó i cal buscar-la en un tema d'energies. Quan els àtoms o molècules passen a l'estat sòlid cerquen que les interaccions entre elles tinguin la menor energia necessària, això vol dir que busquen els llocs en l'espai on es trobin més "còmodes". Aquesta disposició "còmoda" també ve donada per les condicions externes on el cristall es desenvolupa: pressió, temperatura, humitat, altres elements presents...

Però els maons principals que determinen la forma del cristall són el que anomenem **unitats estructurals**. Aquestes unitats són les que s'aniràn repetint periòdicament per a formar el cristall. Poden ser àtoms, ions o molècules. Són els "models" dels que parlàvem abans.

Dins d'aquestes unitats estructurals podem definir el concepte de cel·la unitat que seria la **unitat mínima de volum** que conté tota la informació estructural (la distribució dels àtoms i l'espai que els envolta) i tota la informació de simetria (plans, lliscaments, eixos, centres d'inversió) del cristall i que reproduceix a aquest per translació repetida en les direccions i longituds de les arestes de la cel·la.

En els dibuixos de la dreta podem veure l'explicació de com es forma un cristall determinat a partir dels *maons* bàsics.

(1) La forma final que observem és un dodecaedre (o dodecaedre ròmbic) està format per 12 cares en forma de rombe. Es forma com veiem per la juxtaposició de moltes cel·les unitàries cúbiques, petits cubs. La seva disposició va fent créixer les cares fins a formar el cristall. Aquest dodecaedre és habitual trobar-lo en els minerals que formen el grup del granat (grossulària, almandina, pirop, tsavorita, hessonita...).

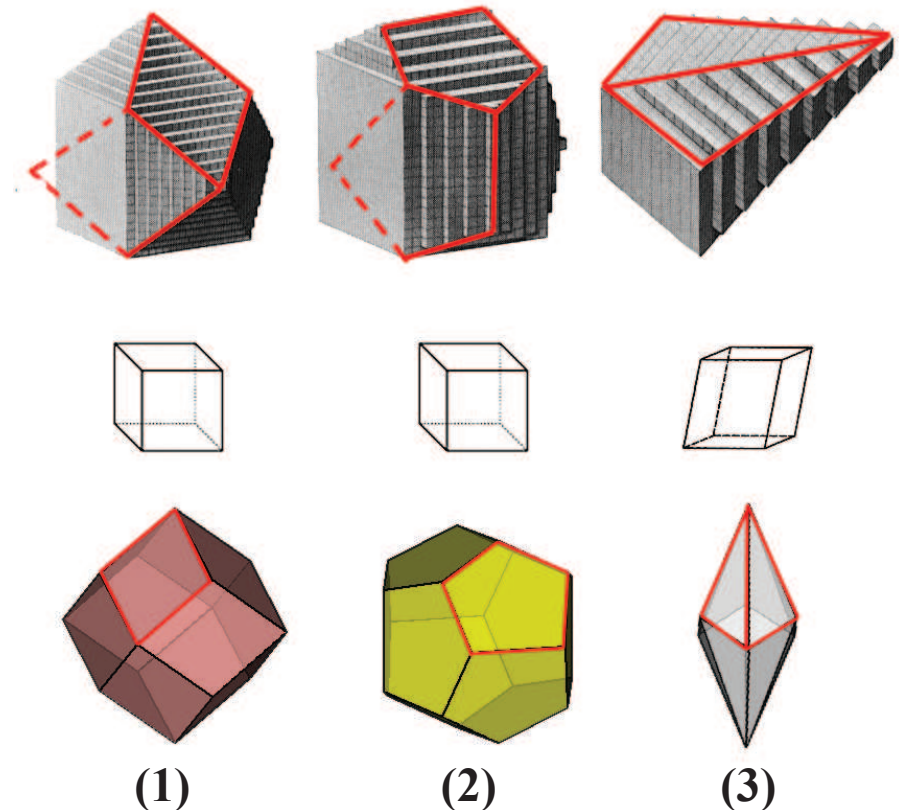
(2) Aquesta forma s'anomena piritoedre (dodecaedre pentagonal) i està format per 12 cares pentagonals. El fet és que també està format per cel·les unitàries cúbiques, petits cubs. És un clàssic de la pirita.

(3) L'escalenoedre no es pot formar per juxtaposició de petits cubs. En canvi està format per diminutes cel·les romboèdriques, com la del dibuix. És una forma clàssica de la calcita, però també d'altres minerals com la rodocrosita o la proustita.

LA FORMA DELS CRISTALLS

Unitat estructural

Cel·la unitària

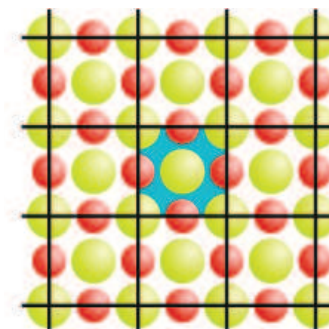
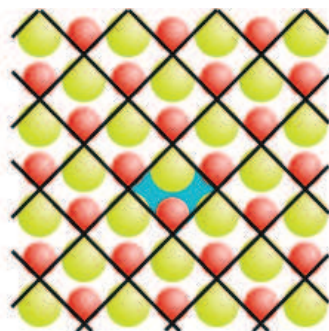


COM ES “CONSTRUEIXEN” ELS CRISTALLS?

Ja hem vist que la repetició periòdica de certes unitats mínimes ens porten a la formació de les diferents *formes* dels cristalls. Però què regeix que es disposin d'aquesta manera i no d'una altra?

Aquí introduïm el concepte de **simetria**. Quan observem un cristall veiem que té moltes cares, amb diferents formes i orientades en varies direccions. Però també observem que algunes d'aquestes cares es repeteixen seguint unes pautes determinades i constants al voltant del mateix.

La cel·la unitat de la que havíem parlat es repeteix i conté tota la informació necessària per a reproduir el cristall fins a l'infinit si tingués prou material per fer-ho.



Aquestes dues representacions bidimensionals ens plantegen dues opcions de cel·la unitat però relament només una té tota la informació de simetria que ens cal per reproduir el cristall.

Només la segona ens dona tota la informació. La primera es deixa diversos elements de simetria (plans i eixos).

Sistemes Cristal·lins

Els cristal·lografs d'altres temps es van trencar el cap per intentar trobar quines eren les cel·les unitat tridimensionals mínimes que podem trobar a la natura amb les que es puguin *construir* tots els cristalls.

L'any 1848, el físic francès Auguste Bravais (1811-1863) va publicar un treball en el que citava que només hi havia 14 possibilitats de cel·la unitària, a partir de les quals es podien formar totes les xarxes tridimensionals periòdiques dels cristalls: les anomenades **Xarxes de Bravais**. Aquestes xarxes s'agrupen en 7 famílies anomenades **SISTEMES CRISTAL·LINS**.



Geomètricament només hi ha aquestes 14 possibilitats de cel·les per a representar tots els cristalls coneguts. Els punts negres es correspondrien als àtoms-ions i molècules.

La menor simetria la trobem al sistema triclínic i va augmentant fins arribar al sistema cúbic.

Però que volen dir aquestes lletres a, b, c i els angles α , β i γ ?

Aquestes lletres llatines i gregues són les **constants reticulars** (reticle o xarxa). Les lletres a, b i c són els **paràmetres de la xarxa** i representen el mòdul del vector més curt que es genera en unir punt simètricament equivalents.

Això vol dir que en el sistema triclínic els valors d'a, b i c seran els que siguin però sempre diferents. En canvi en el cúbic tots tres valors són iguals.

Pel que fa als angles α , β i γ , en el triclínic poden tenir qualsevol valor, que no sigui 90° , i són tots diferents. En el sistema hexagonal, per exemple, α i β el seu valor és de 90° (per tant els vectors b i c són perpendiculars entre si, així com l'a i el c) i en canvi l'angle γ és de 120° . En el cúbic, α , β i γ són perpendiculars entre ells i formen un cub, ja que els valors d'a, b i c també són iguals.

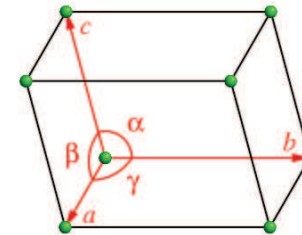
Pel que fa a la disposició dels “models” en les xarxes:

Tipus P: Es denomina primitiva i té punts de xarxa (àtoms, ions, molècules...) en els vèrtexs de la cel·la.

Tipus I: Xarxa centrada a l'interior. Aquesta presenta punts de xarxa en els vèrtexs de la cel·la i en el centre de la mateixa.

Tipus F: Xarxa centrada en totes les cares. Presenta punts de xarxa en els centres de totes les cares, així com en els vèrtexs.

Tipus C: Xarxa centrada en la base. Una xarxa tipus C es refereix al cas en què la simetria traslacional col·loca punts de xarxa en els centres de les cares delimitats per les direccions a i b, així com en l'origen.



	Centrat a les cares (F)	Centrat al cos (I)	Centrat a les bases (C)	Primitiva (P)	Sistema Cristal·lí
Axinite <chem>CuSO4 · 5H2O</chem>					Triclínic $a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$
Anfibol <chem>Na2Co3</chem>					Monoclínic $a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$
Olivina Barita <chem>AgNO3</chem>					Ròmbic $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Calcita As					Trigonal $a = b = c$ $\alpha = \beta \neq \gamma$ $\gamma = 120^\circ$
Zircó <chem>KH2PO4</chem>					Tetragonal $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Fluorapatita Beril Zn					Hexagonal $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$
“granat” pirita Magnetita					Cúbic $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$

Pensa que..

Encara que s'utilitza habitualment el terme "forma" per designar l'aspecte extern d'un cristall, l'apropiat és designar la forma externa (generalment malformada i defectuosa) amb la paraula "**hàbit**", i utilitzar "**forma**" com un grup ideal de cares cristal·lines totes les quals tenen la mateixa relació amb els elements de simetria i exhibeixen les mateixes possibilitats físiques i químiques.

Tot i que només hi ha aquestes 14 cel·les o xarxes de Bravais agrupades en els 7 sistemes cristal·lins (alguns inclouen el trigonal com una subdivisió de l'hexagonal), la combinació de totes elles ens permet assolir el nombre de **230 possibles** formes de disposar-se. Són el que s'anomenen **GRUPS ESPACIALS** (GE).

Podem definir els grups espacials com a grups de transformació de l'espai tridimensional homogeni i discret en si mateix. El principi d'homogeneïtat d'una substància en estat cristal·lí, considerat a nivell microscòpic, és a dir, considerant els àtoms de la substància cristal·lina, inclou els **principis de simetria** (la substància cristal·lina conté un infinit nombre de punts iguals per operacions de simetria) i de discreció (no tots els punts d'una substància cristal·lina són idèntics).

Aquests principis es donen simultàniament en tota la xarxa cristal·lina. Les condicions d'homogeneïtat i discreció determinen que tots els grups espacials siguin periòdics tridimensionalment i per tant cristal·logràfics, amb eixos de simetria d'ordres 1, 2, 3, 4 i 6.

Si voleu aprofundir en els GE cal que tingueu una base sòlida en cristal·lografia. Per això, aquest manual només en fa una pinzellada, ja que no és el nostre objectiu entrar en aquest vast camp. Tanmateix podeu trobar molta informació a internet o en llibres especialitzats.

La importància del GE la trobem quan apliquem, per exemple, tècniques de difracció de raigs X a un cristall o pols cristal·lina. Els resultats que n'obtenim ens indiquen a quin grup espacial correspon la mostra i d'aquesta manera ens ajuda a poder-la identificar.

SIMETRIA

Hem parlat d'eixos d'ordre 1, 2, 3, 4 i 6... Hem parlat de plans de reflexió... Però que volen dir aquests elements? Puc observar-los en els cristalls naturals que trobo? Això ens introdueix en el fascinant món de la recerca dels elements de **SIMETRIA**.



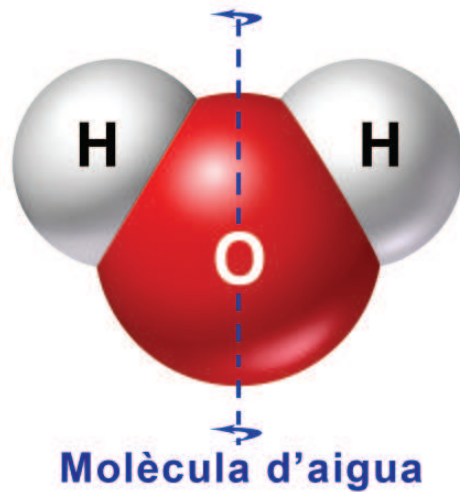
Cristall biterminat de quars fumats del massís del Mont-Blanc.
Foto: M. Petetin.

Alguns dels primers estudis sobre els cristalls que es trobaven a la natura van ser motivats per les curioses facetes i arestes que curiosament es repetien en l'exemplar. Els científics observaven que els flocs de neu tenien formes que recordaven l'hexagon, que la sal formava cubs, que a les altes muntanyes es trobaven cristalls amb formes repetides, hexagonals, amb terminacions piramidals...

Com hem vist aquestes formes provenen de l'estructura periòdica interna i microscòpica dels cristalls. Però el que regeix com es disposen aquests "maons" és la SIMETRIA i els elements que la defineixen.

Diem que un objecte té simetria si en realitzar sobre ell algun moviment, la posició resultant resulta indistingible de la inicial.

Elements de simetria



El que tenim aquí és la representació d'una molècula d'aigua: H_2O . Suposem que la molècula gira 180° sobre l'eix de color blau. Què veurem? Veurem que la molècula queda igual, segueixen els dos àtoms indistingibles d'hidrogen en la mateixa posició. Si algú la mira no podrà distingir-la de la inicial.

Hem realitzat una operació de simetria: un gir de 180° .

Els principals elements de simetria que ens trobarem són:

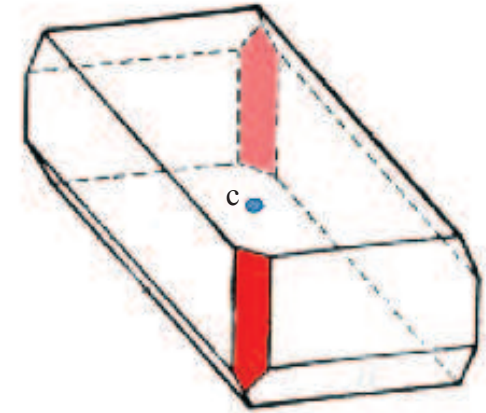
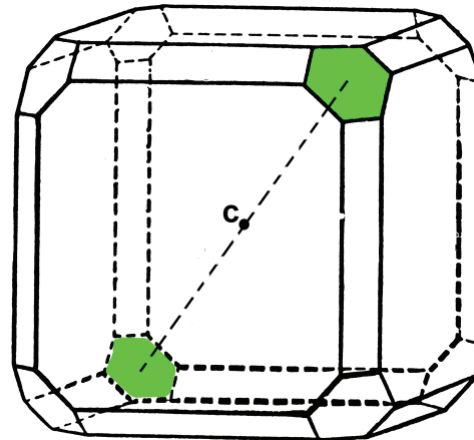
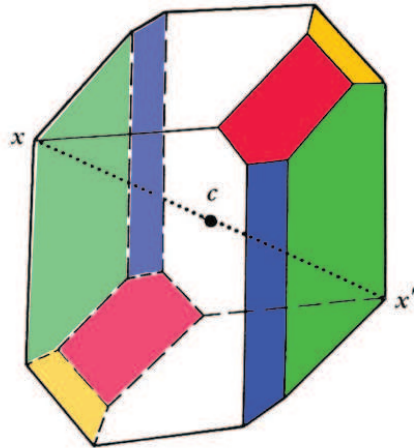
- 1.- Centres de simetria
- 2.- Eixos de rotació
- 3.- Plans de simetria
- 4.- Eixos de rotació i inversió



Centres de simetria

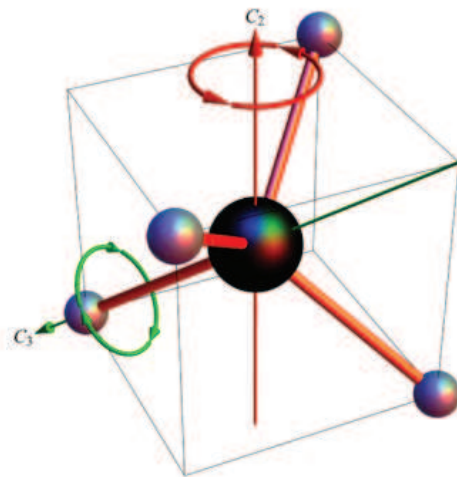
C

Detectarem la presència d'un centre de simetria en un cristall si una línia imaginària passa des de qualsevol punt del cristall a través d'aquest centre i un punt idèntic es troba sobre la mateixa línia a igual distància del centre. Si en un cristall trobem cares oposades idèntiques y paral·leles en totes direccions això indica que tenim un centre de simetria.



Eixos de simetria

Si al girar un cristall al voltant d'una línia recta imaginària que el travessa de manera que es repeteix a si mateix dues o més vegades en una volta completa tenim un eix de simetria. Els cristalls els podem rotar per un eix de simetria 2, 3, 4 o 6 vegades per un vèrtex, aresta o el centre d'una cara.

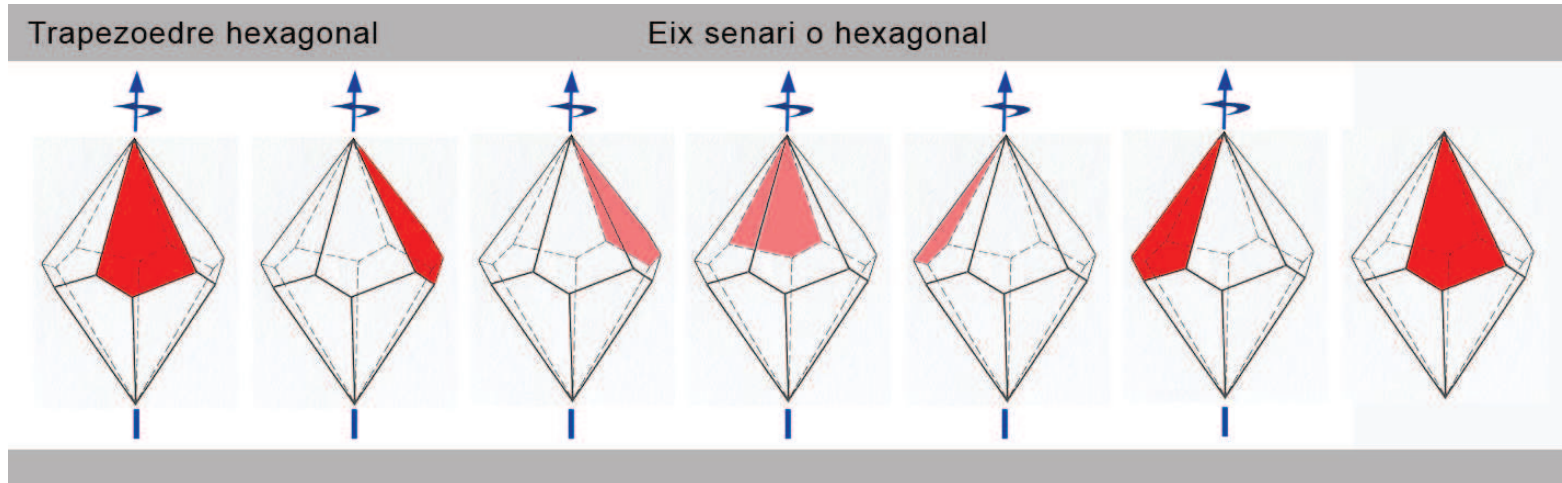


En aquesta molècula veiem que es presenten eixos binaris (d'ordre 2) i ternaris (d'ordre 3).

En girar la molècula 180° sobre l'eix C₂, la molècula resultant és indistingible de la inicial. Això ho pots practicar fàcilment utilitzant palets de fusta i boles de plastelina per reproduir la molècula.

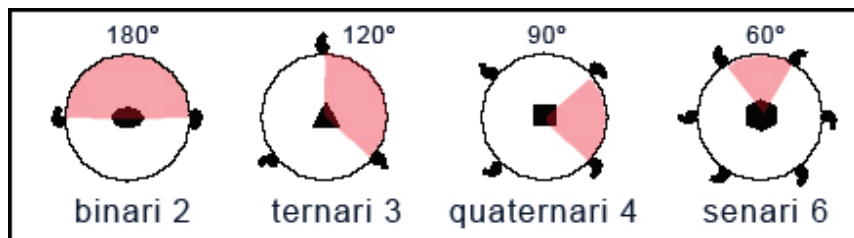
El ternari gira 120° i deixa la molècula amb la mateixa forma indistingible.

Si l'àtom negre for silici i les boletes platejades oxigen tindriem un tetraedre de SiO₂, que forma el quars.

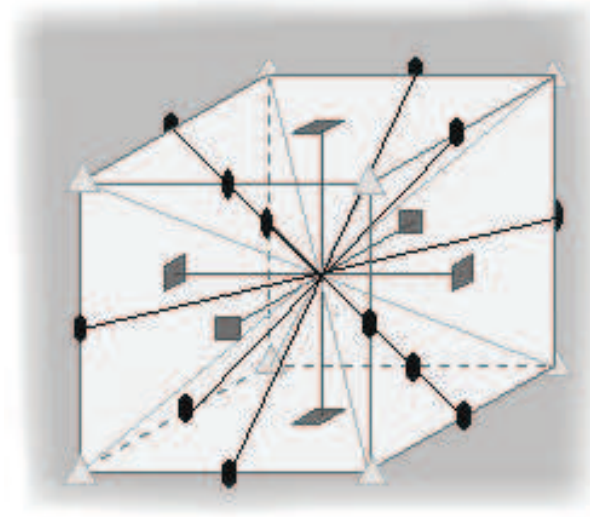


En aquest dibuís d'un cristall de calcita veiem una cara que hem pintat en vermell. Si girem el cristall, en sentit antihorari, tornem a trobar una cara igual a la inicial. Seguim girant i anem trobant cares similars a la inicial. Aquesta operació la fem fins a sis vegades, fins recuperar la cara pintada en vermell. Tenim un eix senari, d'ordre 6. Cada gir serà de: $360^\circ/6 = 60^\circ$.

Per identificar els eixos es fan servir figures com les inferiors, on una el·lipse és el binari, un triangle el ternari, un quadrat el quaternari i un hexàgon el senari.



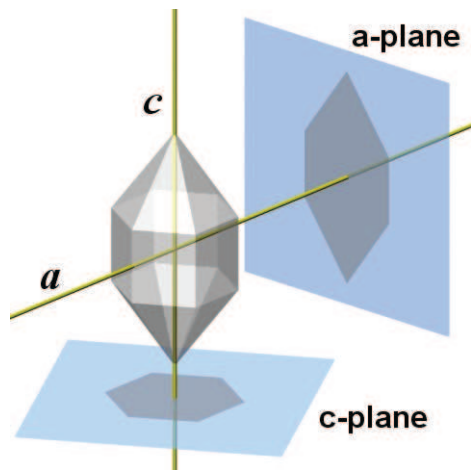
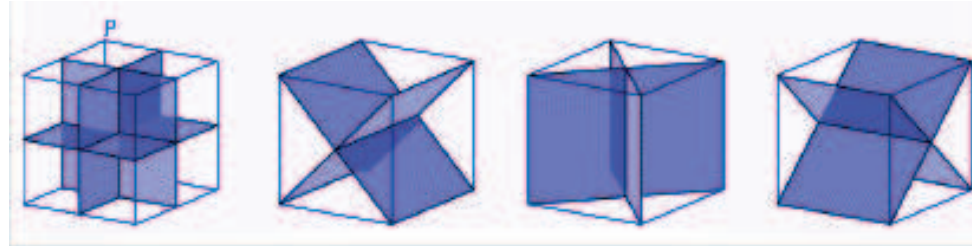
Prova a agafar un cub de pirita i busca els eixos.
A la imatge t'indiquem on trobar-los, però prova-ho tu mateix...



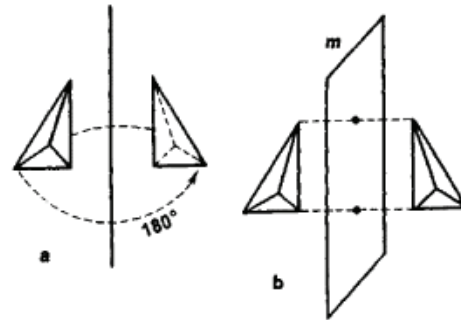
Plans de simetria

Fins ara hem vist el centre de simetria, un punt, cap dimensió. Hem vist els eixos, línees, una dimensió. Ara ens toquen les dues dimensions: els plans.

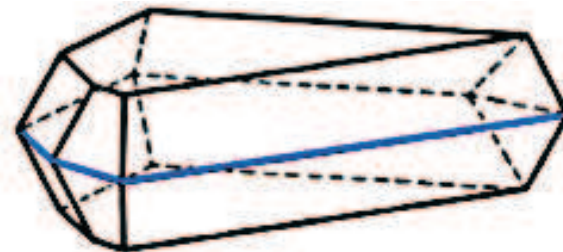
Un pla de simetria és una superfície plana, un pla, que divideix el cristall en dues parts. Cadascuna d'aquestes parts és una imatge especular (com si fos un mirall) de l'altre. El sistema cristal·lí cúbic és el que té més plans de simetria, nou en total.



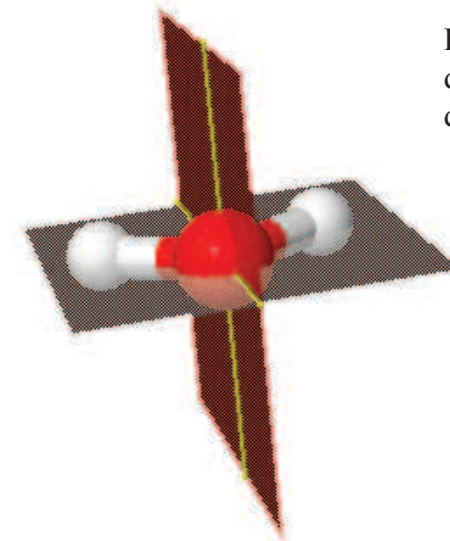
Cristall de quars i plans de reflexió.



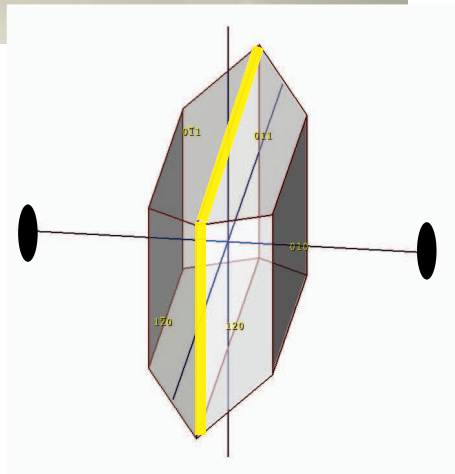
Diferència entre (a) una rotació al voltant d'un eix i (b) la reflexió en un pla (m)



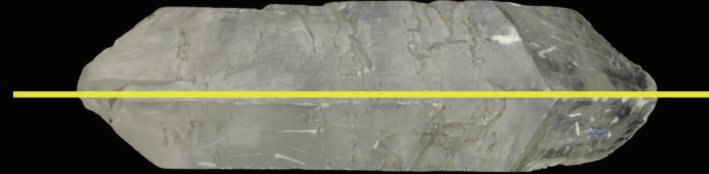
Cristall amb un sol pla de simetria (en blau)



Plans de simetria de la molècula d'aigua.



pla de reflexió

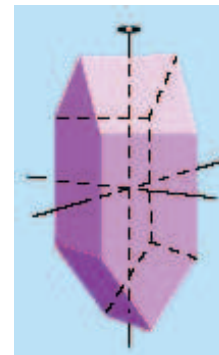


Cristall de guix.
Observeu en groc l'únic pla de simetria del cristall que és perpendicular a un eix de rotació d'ordre 2.
A més, es genera un centre de simetria.

Aquesta operació de simetria combina la rotació (ordre 2, 3, 4 i 6) amb la inversió a través del centre.

Girant i invertint al voltant d'ells, la cara cristal·lina es repeteix un nombre determinat de vegades segons l'ordre de l'eix.

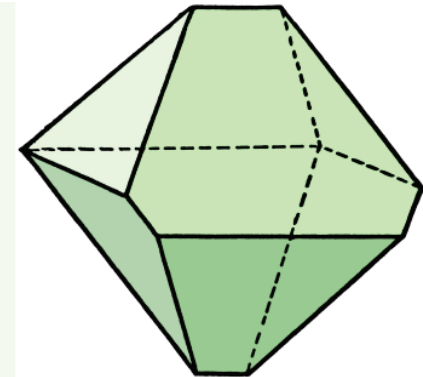
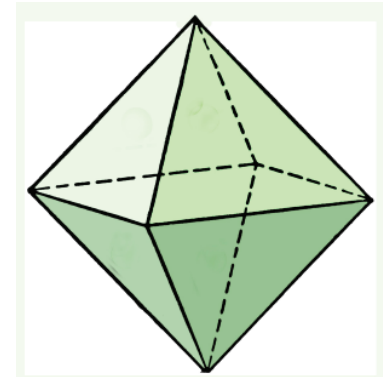
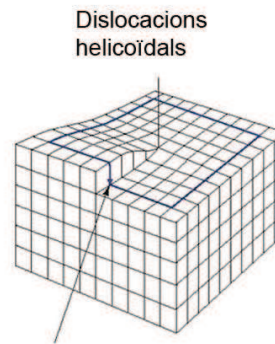
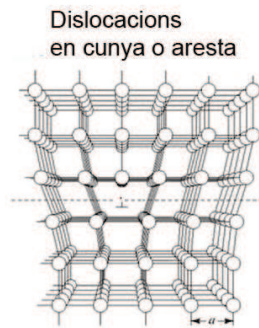
Es simbolitzen amb les figures dels eixos de rotació amb un punt al centre.



Eixos de rotació inversió

EXEMPLES AMB CRISTALLS REALS

Totes aquestes informacions que hem presentat, ara les aplicarem a cristalls reals, dels que trobem a la natura. Cal considerar que la natura juga sempre amb nosaltres i molt mostra cristalls deformats. Aquestes deformacions cristal·lines són degudes, majoritàriament, a defectes en el creixement provocats per canvis en el medi, presència d'altres elements químics, modificacions de la temperatura, esforços deguts al lloc on creixen els cristalls, velocitat de creixement, etc.



GLAUBERITA

H-M* Símbol (2/m)
Grup Espacial C 2/c**
MONOCLÍNIC

La glauberita és un mineral del grup dels sulfats, de fórmula química $\text{Na}_2\text{Ca}[\text{SO}_4]_2$. La seva denominació es deu al seu contingut de sulfat sòdic (Na_2SO_4), antigament conegut com a *Sal de Glauber*, i reb aquest nom per l'alquimista alemany Johann Rudolph Glauber (1604- 1668).

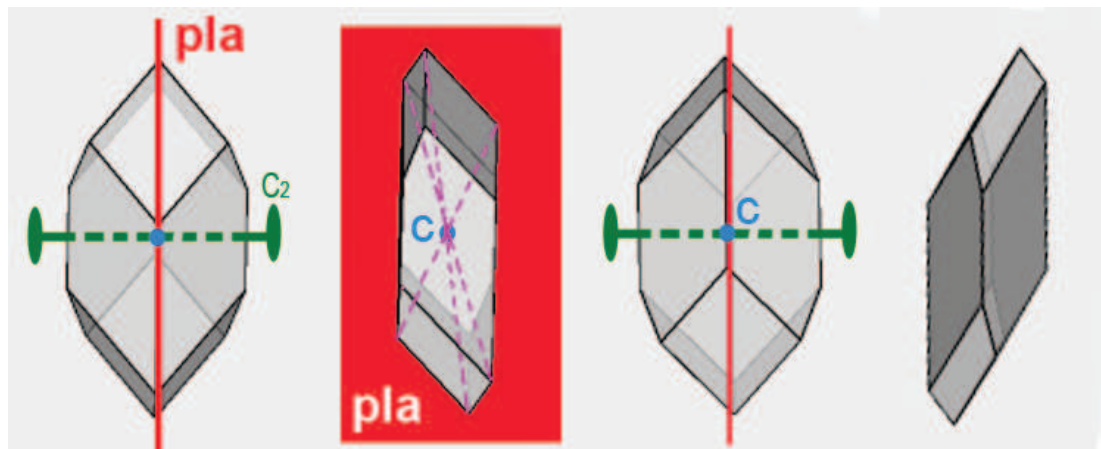
La glauberita és un mineral habitualment incolor que cristal·litza en el sistema **monoclínic**. En aquest cas tenim una curiosa pseudomòrfosi de calcita en glauberita.

Què vol dir **pseudomòrfosi** (veure *Manual d'Introducció a la Mineralogia* al web)?

El pseudomorfisme és un procés en el qual un mineral és totalment o parcial reemplaçat per un altre espècie diferent. Aquesta substitució, però, conserva la forma del cristall del mineral original. El nom pseudomòrfosi significa *forma falsa*.

Calcita pseudomòrfica de glauberita significa, doncs, que en un principi el cristall era glauberita, però per processos geològics aquesta glauberita s'ha transformat en calcita. La glauberita, ja hem dit, és monoclínica (poca simetria) mentre que la calcita és trigonal; però l'estructura que es preserva és la monoclínica.

(*) Hermann-Mauguin: notació utilitzada per representar la simetria de grups espacials, juntament amb la Schoenflies (**).



En les imatges superiors podem observar un cristall de glauberita pseudomorfitzat per calcita. Veiem que presenta formes ròmbiques, del rombe, per cares principals. En mirar el perfil del cristall s'observen unes altres cares que són rombes amb dos costats allargats i dos curts. També veiem que es disposen simètricament en ambdós costats del cristall. Això ja ens dona pistes sobre la simetria. A sota hem dibuixat les posicions del cristall que ens permeten veure la simetria.

Observem un pla de reflexió (en **vermell**) que passa per una aresta i talla el rombe. Aquest pla respecta la simetria de les cares grans i de les més petites. Si fem girar el cristall pels dos vèrtexs veiem que recuperem el mateix cris-

tall en donar mitja volta: un eix de 180° (binari, en **verd**). A més, observem que tots els punts del cristall passen per un centre imaginari on es creuen l'eix binari (C_2) amb el pla: tenim un centre de simetria (en **blau**). No tenim eixos ternaris, això ens descarta per exemple la calcita.

Cal dir que aquest exemplar de la foto és de Camp Verde, a Arizona (USA), però que la localitat tipus* per la glauberita és la mina El Castellar, prop de Toledo, a Espanya.

* Localitat tipus és la localitat on un tipus de roca, unitat estratigràfica, fòssil o espècie mineral s'ha identificat per primera vegada.

ALMANDINA

Grup del Granat

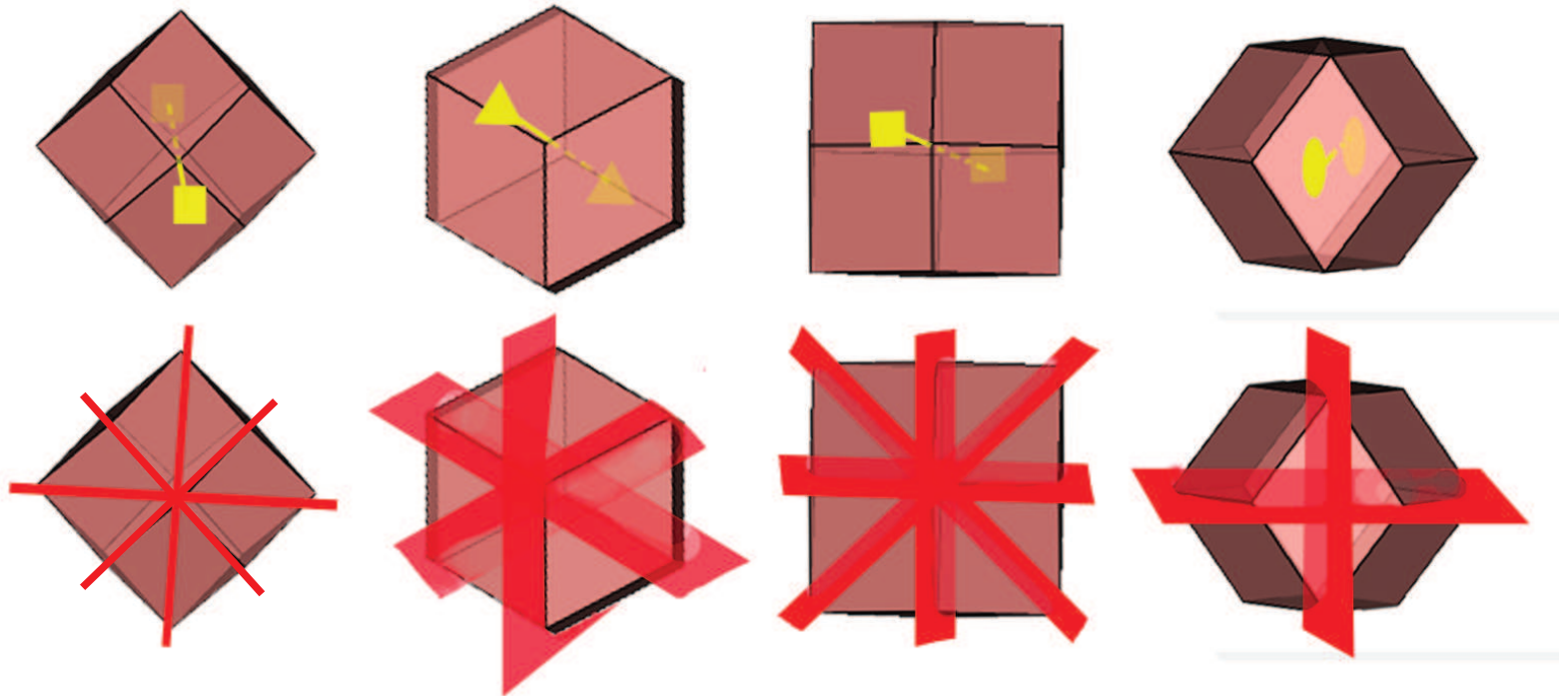
H-M Símbol (4/m 3 2/m)

Grup espacial: $I a\bar{3}d$

CÚBIC



Almandina, Grup del granat



Ara, amb aquest exemple, passem d'un cristall com la glauberita de molt baixa simetria (amb pocs elements de simetria) a un exemplar d'almandina amb tota la simetria.

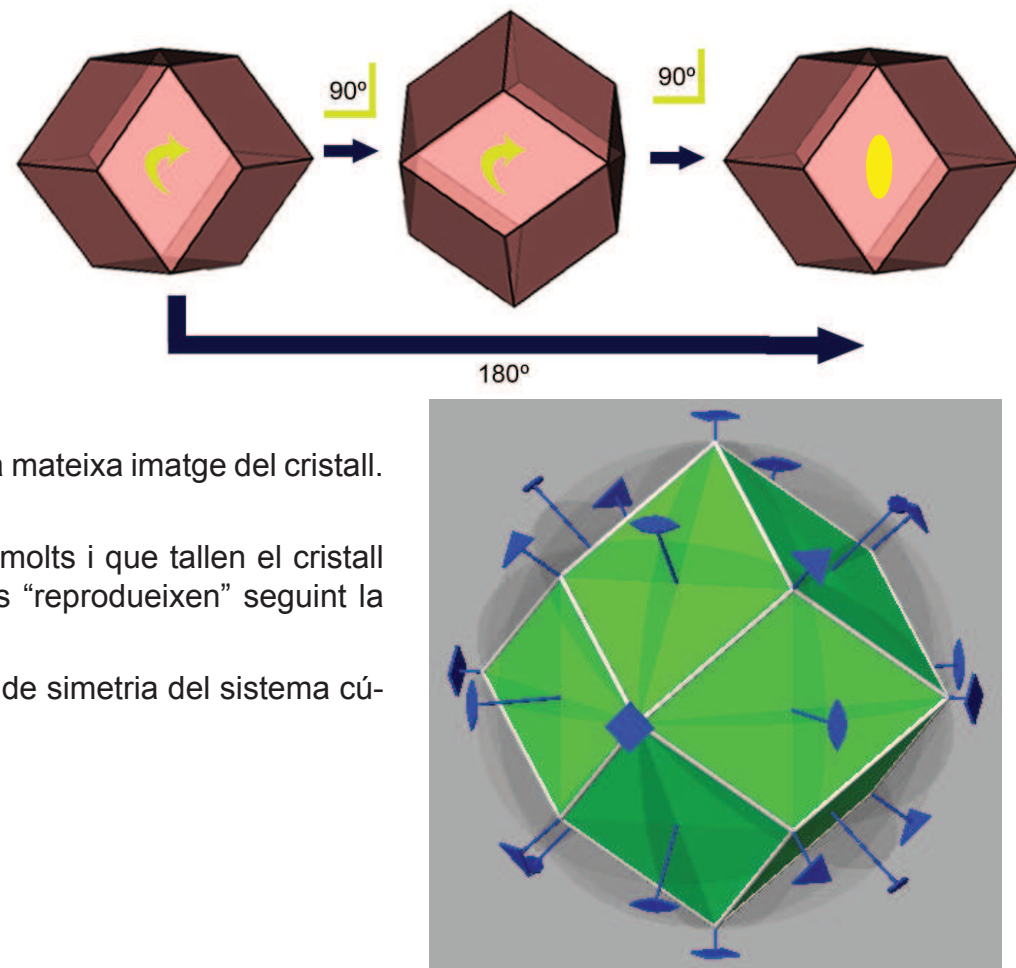
L'almandina és una espècie de mineral que pertany al grup dels granats. El nom és una deformació lingüística de la paraula *alabandicus*, el nom aplicat per Plini el Vell a una pedra que es troba en Alabanda, una ciutat de Cària, a l'Àsia Menor. L'almandina és un nesosilicat d'alumini i ferro ($\text{Fe}_2^{+3}\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$), que sol tenir un color vermell fosc amb tons porpres. El **rombododecaedre** de la imatge prové de Madagascar. Pertany al sistema cristal·lí cúbic.

El fet de que sigui cúbic ens dificulta dibuixar d'una vegada tots els eixos i plans. Busquem doncs primerament eixos. Observem en la primera i tercera imatges que les quatre cares en forma de rombe es repeteixen girant el cristall cada 90° , per tant tenim eixos quaternaris en alguns vèrtexs.

En canvi, hi ha vèrtexs on convergeixen tres cares i que per rotació de 120° esdevenent equivalents. Per tant tenim eixos ternaris. En la darrera imatge del cristall tenim un rombe rodejat de quatre rombes, però observem que si fem girar-lo 90° el que obtenim no és igual a l'original. En canvi, en rotar 180° , sí que tenim altre vegada la mateixa imatge del cristall. I això es repeteix en el centre de totes les cares.

Pel que fa als plans de simetria, podem veure que n'hi ha molts i que tallen el cristall en dues parts especulars. Els plans continguts en eixos es "reprodueixen" seguint la simetria de l'eix.

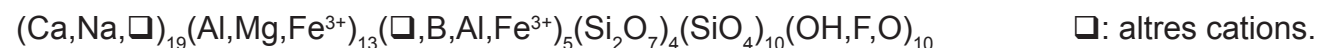
En la imatge del costat tenim representades les operacions de simetria del sistema cúbic aplicades a un rombododecaedre.



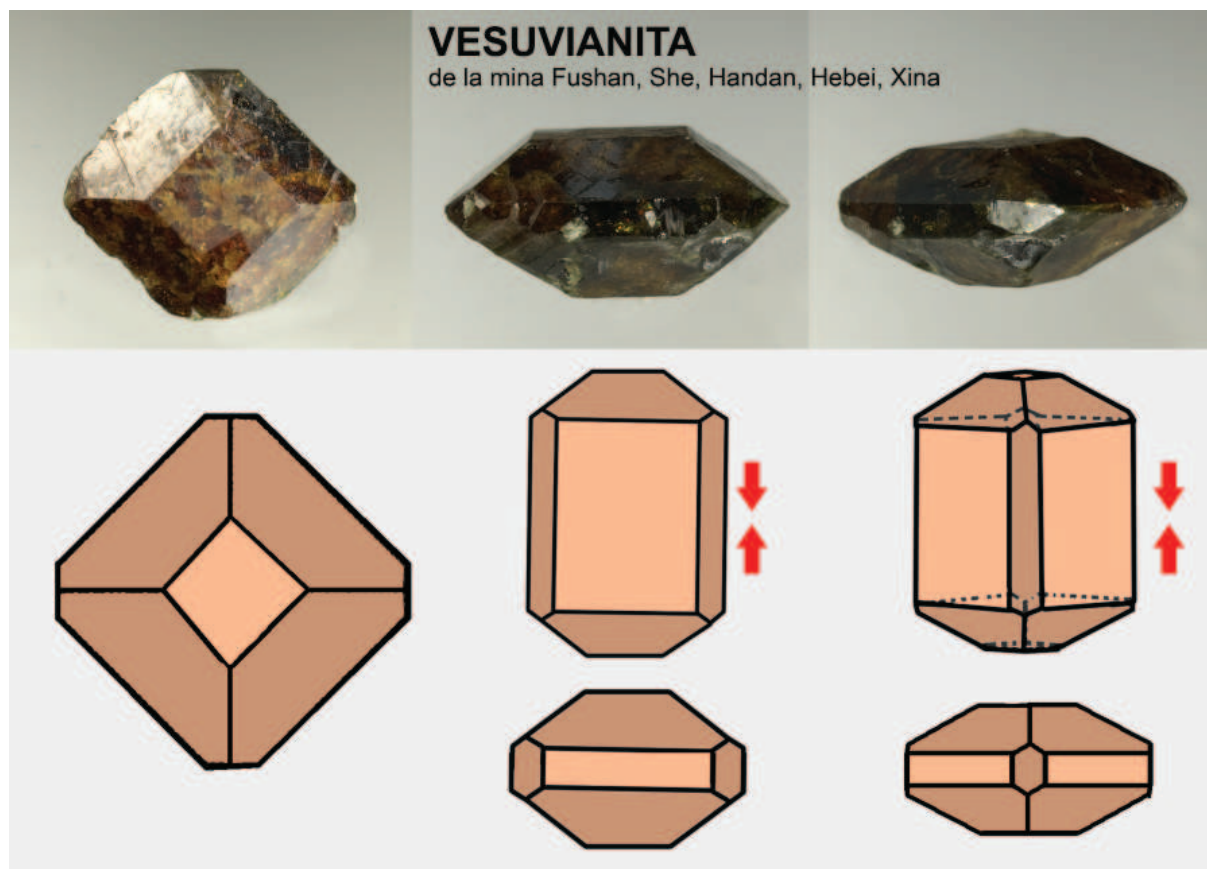
VESUVIANITA

H-M Símbol (4/m)
Grup espacial: P 4/n
TETRAGONAL

La vesuvianita, també coneguda popularment com *idocrasa*, és un sorosilicat de fórmula:



que pot presentar en els colors verd, marró, groc, o blau. La vesuvianita pertany al sistema tetragonal. Es troba en skarns i dipòsits en calcàries que s'han vist subjectes al metamorfisme de contacte. Reanomenada "vesuviana" el 1795 per Abraham Gottlob Werner després de ser trobada al mont Vesuvi (Itàlia). Originalment va ser anomenada, el 1723, per Moritz Anton Cappeler *hyacinthus dictus octodecahedricus*. Renomenada el 1772 per Jean-Baptiste Louis Rome-de-l'Isle com *hyacinte du Vesuve* i, possiblement, la inspiració per al nom actual, escollit per Werner. El 1799, René J. Haüy va introduir el nom *idocrase*, que va ser antigament un nom molt popular.



Aquest cristall real que us presentem té un prisma molt poc desenvolupat, és com si s'hagués encongit...

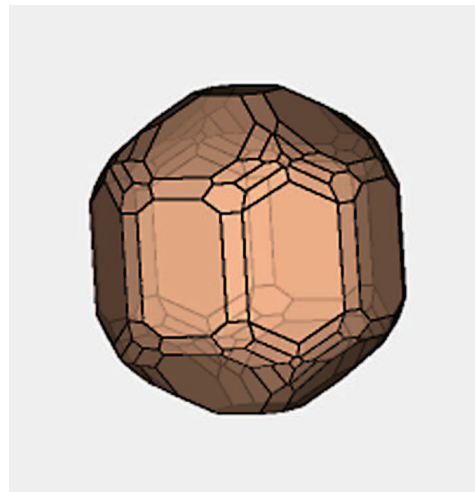
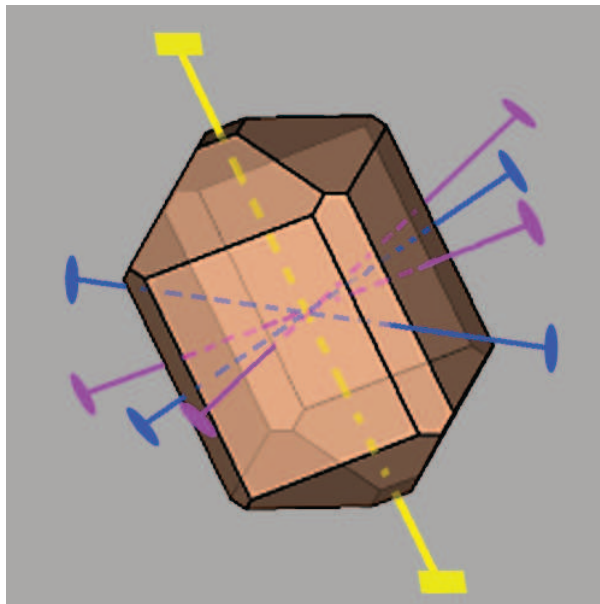
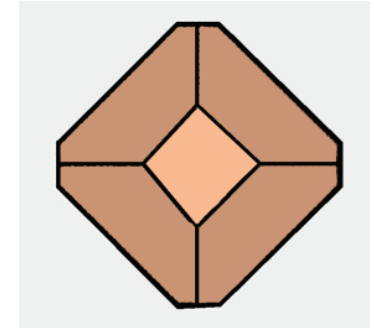
Anem a buscar elements de simetria. El més evident és un **eix quaternari** a les cares quadrades que són cares pinacoidals, que tallen la piràmide de base quadrada superior. La actuació d'aquest eix es verifica (en groc) en totes les cares del cristall.

Semblaria que hi ha eixos quaternaris a les cares laterals, però si fem un gir de 90° no ens trobem un cristall equivalent, per tant no tenim aquest eix a les cares, però si fem un gir de 180° sí que tenim l'equivalència. Per tant pel centre de les cares del prisma hi passen **eixos binaris**. I si ampliem l'operació a les estretes cares verticals també trobem la mateixa resposta.

Busquem ara eixos ternaris... A les cares de la piràmide no es dona cap resultat... Als vèrtex entre prisma i piràmide tampoc... No tenim eixos ternaris.

De plans de simetria en tenim cinc. Un equatorial i 2+2 verticals, perpendiculars a l'equatorial. Us animeu a buscar-los?

I per acabar, un centre de simetria en el lloc on es creuen tots els eixos.

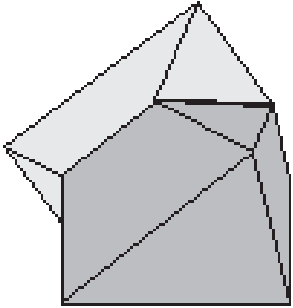


Un altre cristall de vesuvianita molt ric en cares. És més complex, però si cerqueu els elements de simetria, els trobareu clarament.



Cristall de vesuvianita de Bellecombe, a la vall d'Aosta (Itàlia). Col. i foto Chinellato Matteo.

MACLES



$\{1\bar{1}1\}$

Macla de l'espinel·la

Fins ara hem parlat de cristalls ideals i reals, però isolats, individuals. A la Natura, per posar-ho més entretingut, trobem associacions de dos o més cristalls. Molt sovint són creixements paral·lels, interpenetracions... Però de vegades aquests grups de cristalls segueixen unes lleis fixades: les lleis de macla.

Què és una macla?

Una macla està composta per dos o més cristalls d'una mateixa espècie units entre sí de manera que tenen certes coincidències en algunes direccions cristal·logràfiques i certes cares. En aquest cas una mita del cristall és la imatge de l'altre, mitjançant un pla de reflexió o per una rotació de 180° , 120° o 90° respecte un eix.

Es formen quan el cristall creix. Resulta que un àtom de l'espècie pren una posició que no segueix la pauta dels altres àtoms, però com la variació és mínima es queda en aquest lloc i comença a créixer amb el cristall original. Atreu més ions i continua creixent en aquesta direcció. Si el creixement és ràpid, el nou cristall adquireix la mida del seu acompanyant al mateix temps, mostrant les mateixes cares, arestes... Si el creixement és lent, els ions del medi tendeixen a cobrir i corregir aquest creixement i s'orienten de nou com el cristall original.

Una llei de macla es basa sempre en un pla o un eix de macla. Un pla de macla sempre és paral·lel a una cara i mai ho és a un pla de simetria del cristall original. No pot ser mai un eix de simetria, encara que la rotació sigui de 180° .

Anem a intentar sistematitzar algunes de les macles més comuns i que ens trobarem sovint en els cristalls que trobarem als jaciments.

Les macles de contacte estan unides per un pla que ha de ser de reflexió (**macla de reflexió**) o hi ha d'haver un eix sobre el qual sembla que la macla hagi rotat (**macla de rotació**).

Les macles de reflexió són curioses en la calcita. En la imatge observem un pla que "reflecteix" les dues parts.

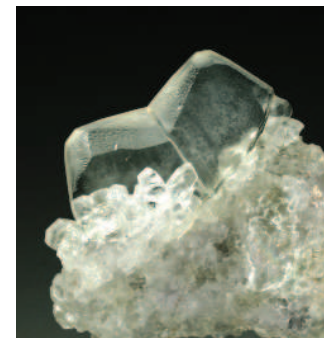
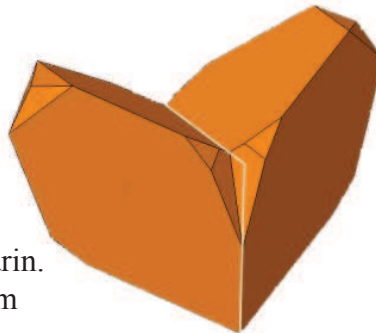
Tipus de macles

De contacte

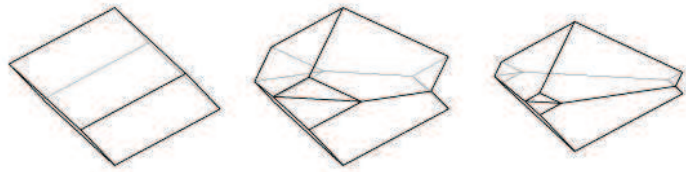


Macla anomenada "barret de bisbe" de la calcita.

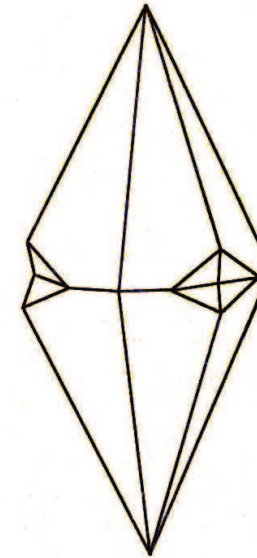
Imatge: Roger Warin.
mineral-forum.com



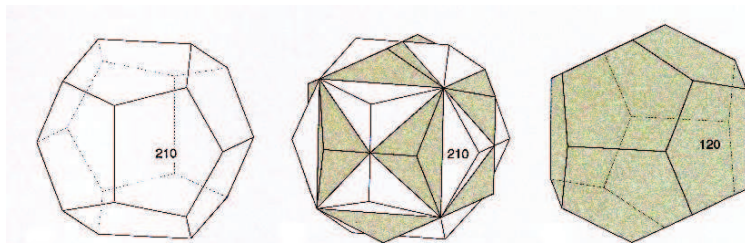
Calcita, macla de papellona.



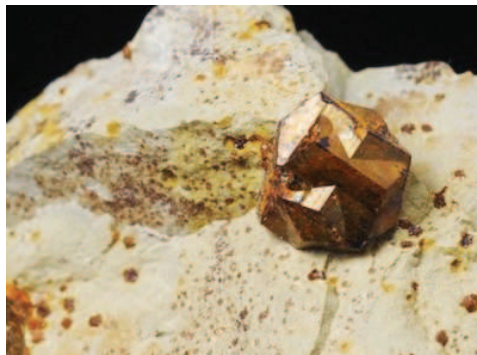
Les **macles de rotació** presenten dos cristalls units que semblen haver rotat 180° . L'eix sobre el que semblen haver rotat és l'eix de macla i el pla que el conté s'anomena pla de macla. La calcita també ens mostra un bon exemple.



Quars, macla del Japó.

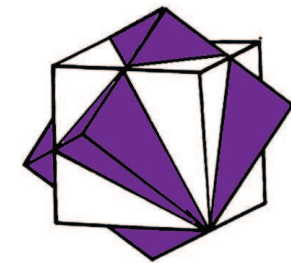
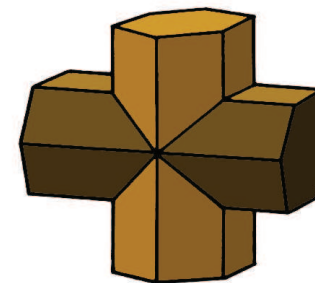


Les **macles de penetració** poden no presentar un pla de macla visible i les trobem formades per dos o més cristalls. Per saber si un grup de cristalls tenen aquesta macla hem d'observar si hi són els eixos de simetria i plans que esperem.



Macla de la pirita en creu de ferro.

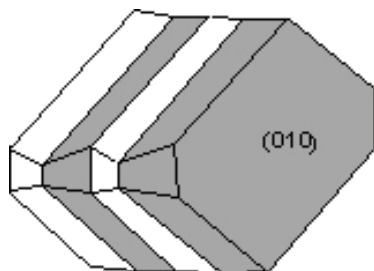
Macla en creu de l'estauroлита.



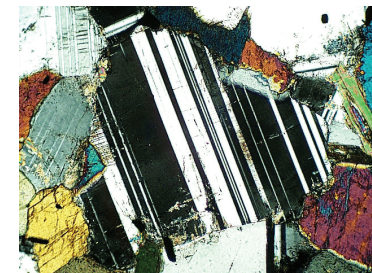
Macles múltiples

Les macles múltiples estan formades per tres o més individus maclats segons la mateixa llei.

Polisintètiques



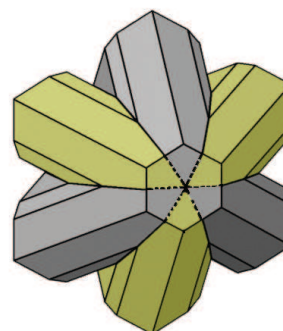
La plagioclasa mostra comunament aquest tipus de macla, anomenada macla de la llei de l'albita. Tal macla és una de les característiques per identificar les plagioclasa. Es veuen perfectament sota el microscopi de llum polaritzada.



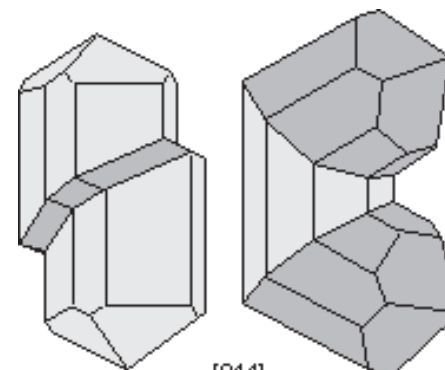
Cícliques



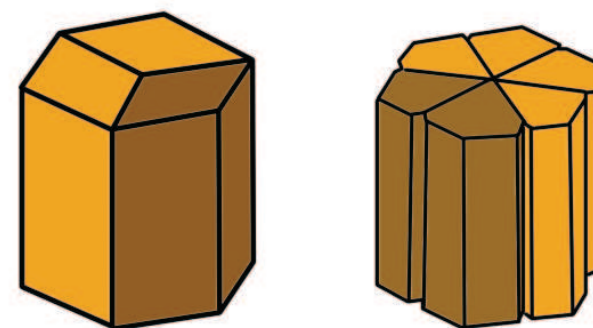
Macla cíclica de crisoberil.



Macles del rútil i la cassiterita



Macla cíclica pseudo-hexagonal de l'aragonita

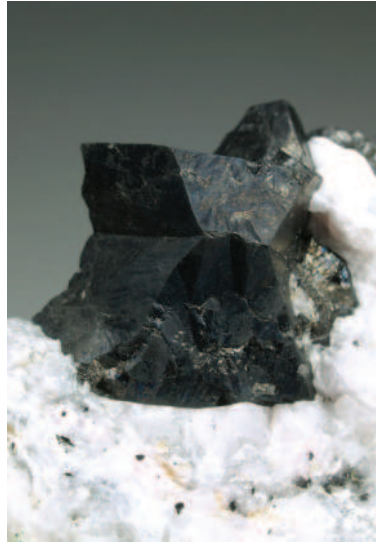


Et recomanem que busquis en els llibres i a internet les nombroses macles que existeixen.



Calcita.
Mina La Cuerre, Asturies.

Macles cícliques. Cerusita.
Mibladen, Marroc.



Alabandita.
Macla d'espinel·la. Perú.

Guix. Macla cua d'oreneta.
Fuentes de Ebro, Saragossa.



Aragonita.
Macla cíclica. França.

Ortoclasi. Macla de baveno.
Naegi, Japó.



Aragonita.
Macla cíclica. Guadalajara.

Cinabri. Macla cíclica i de
rotació. Ucraïna.

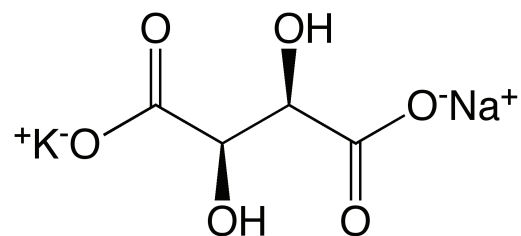


Anem a fer cristalls

Hi ha diversos mètodes per fer créixer cristalls. Nosaltres us proposem alguns experiments amb productes químics que podreu trobar al laboratori. Sempre heu de fer aquests experiments sota la supervisió d'un professor i seguir les mesures de seguretat del laboratori.

Sal de la Rochelle o de Seignette

La Sal de Rochelle o de Seignette és el tartrat sòdic potàssic.

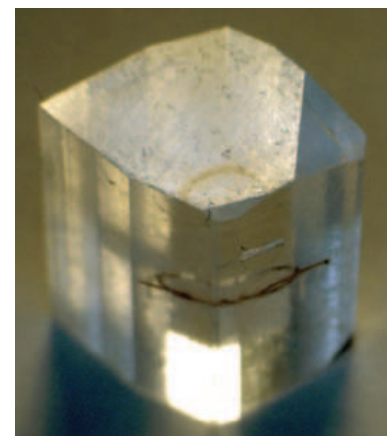


El producte fou descobert el 1672 per Pierre Seignette, un farmacèutic de la Rochelle. És una pols blanca, és natural i es pot fabricar a partir de l'àcid tartàric natural dipositat a les parets dels dipòsits dels cellers. Té moltes aplicacions, entre elles com additiu alimentari E-337. De vegades aquests cristalls apareixen dins les botelles de vi. També s'utilitza per tractar metalls, a la indústria electrònica, com a conservant de la carn, a la pasta de dents, com a regulador de la combustió del paper dels cigarrets...



El producte, una pols blanca, és natural i es pot fabricar a partir de l'àcid tartàric natural dipositat a les parets dels dipòsits dels cellers. De vegades aquests cristalls apareixen dins les botelles de vi.

Té moltes aplicacions, entre elles com additiu alimentari E-337. També s'utilitza per tractar metalls, a la indústria electrònica, com a conservant de la carn, a la pasta de dents, com a regulador de la combustió del paper dels cigarrets...



Per preparar un cristall de sal de la Rochelle ens cal fer, per una banda, una solució sobresaturada i obtenir un germen per a que serveixi com a nucli de creixement.

Per a preparar el cristall de sal de la Rochelle, cal dissoldre 130 grams de la sal en 100 ml d'aigua destil·lada. Això ho podem fer utilitzant aquestes proporcions (260 g de sal per 200 ml d'aigua...).

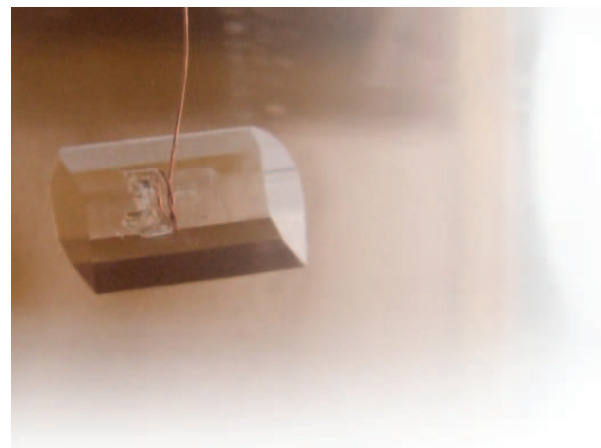
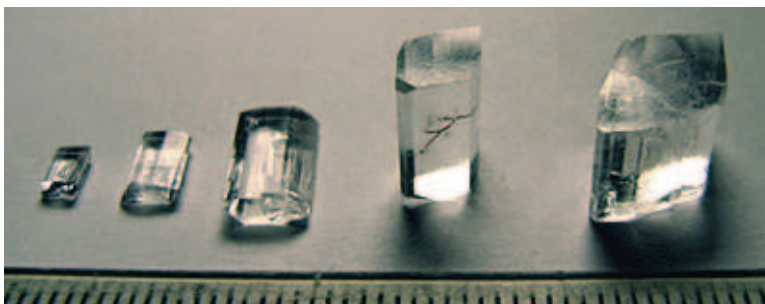
Posarem en un erlenmeyer la sal i la quantitat d'aigua mesurada i escalfarem la solució tot agitant. Un cop dissolta l'abocarem en un envàs com el de la imatge i el taparem. El deixem refredar.

Un cop freda, l'obrim i afegim uns quants grans de la sal de la Rochelle. La dissolució sobresaturada dipositarà l'excés en els grans que hi afegim. Tapem i ho deixem un parell de dies. No ho moguem. La solució haurà dipositat l'excés de sal i serà una dissolució saturada.

Passem a un flascó net la dissolució i podem utilitzar una part d'aquesta per obtenir minicristalls-germen.

Ara ja podem fer una solució de cultiu. Per al creixement per evaporació, escalfem la part de solució saturada que hem separat per fer gèrmens. En escalfar es dissoldrà tot el que hi havia al cul del pot. La deixem refredar i tindrem petits cristalls.

Ara prenem la part principal que hem separat, transparent i incolora, en el pot tancat i l'escalfem afegint 9 grams de sal per cada 100 ml que tinguem de dissolució. Esperem que es dissolgui. En aquesta dissolució nova posarem el disc que tapa amb el filet i un germen adherit a l'extrem. Pacència. Fins i tot i ha per internet concursos per a veure qui fa el cristall més gros.



Alum de crom

Un truc...

Podem emprar recipients de "porexpan" amb tapa (com els de les botelles de dissolvents) per a assegurar un molt lent descens de la temperatura. Hi col·locarem dins els flascons amb la dissolució que volem que es refredi lentament.

L'alum de crom és el sulfat de crom i potassi dodecahidratat $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. L'alum de crom constitueix un subproducte industrial en diversos processos en els quals s'ha utilitzat el dicromat potàssic com a agent oxidant.

Es presenta com a cristalls de color violeta molt fosc (octaèdrics) que donen color vermell robí per transparència. La seva solubilitat en aigua a 25 ° C és d'uns 24.4 g en 100 ml d'aigua. La solució és de color violeta.

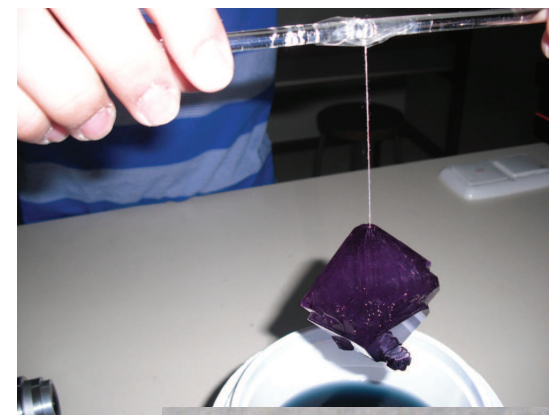
També tenim l'alum d'alumini i potassi dodecahidratat, incolor i que cristal·litza en el sistema cúbic. La seva fórmula és $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.

Els alums cristal·litzen tots en el sistema cúbic. Els octaedres són les formes més habituals, però també s'inclouen els cubs, els pentadodecaedres i altres formes cristal·lines. L'alum comercial té normalment reacció alcalina i cristal·litza en octaèdres, però si se li afegeix una mica d'àcid clorhídric el cristall pot canviar a pentadodecaedres o dodecaedres romboïdals. Per contra si s'afegeix una mica d'hidròxid potàssic el cristall tendeix a fer cubs.

Anem doncs a fer créixer cristalls de color violeta i després els recobrirem amb alum incolor.

Preparem una solució sobresaturada d'alum de crom dissolent 60 grams d'alum en 100 ml d'aigua destil·lada. Procedirem com en el cas de la sal de Rochelle. Escalfem la dissolució fins que es dissolgui tota la sal. La posem en un flascó tapat i la deixem refredar. Afegim alguns granets d'alum. En un parell de dies la solució serà saturada. Decanem l'obscura dissolució. Aquesta dissolució l'escalfem i afegim 5 grams per 100 ml de dissolució inicial. Ja podem penjar un petit cristallet d'alum de crom. Veurem que al cap d'uns dies hauràn crescut diversos octaedres de color porpra.

Si el mateix procés el fem amb l'alum d'alumini i potassi (incolor) (sobresaturada: 20 g en 100 ml d'aigua; saturada 4 g en 100 ml de dissolució original). Posem el filet amb els octaedres violetes i veurem com sobre aquests creixen capes incolores que envolcallen el violeta.



<http://skywalker.cochise.edu/wellerr/crystalgrow/grow-alum.htm>

També anomenat antigament prusiat vermell de potassi. Per obtenir cristalls hem de dissoldre 93 grams de ferricianur de potassi en 200 ml d'aigua destil·lada tèbia. Tapar la solució i deixar refredar molt lentament.

No ens hem d'espantar per la paraula "cianur" en el nom del reactiu, és molt poc tòxic però no ha d'entrar en contacte amb els ulls ni amb la pell perquè és irritant. Entre els seus molts usos es fa servir en fotografia en el procés de cianotípia. També com agent oxidant per treure la plata dels negatius i positius. També en fotografia en color i agent oxidant en química orgànica. És un dels components de la reacció per obtenir el blau de Prússia (wiki).



Ferricianur potàssic
 $K_3[Fe(CN)_6]$
 Monoclínic

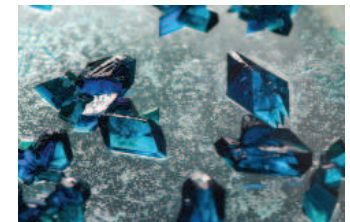
Sal de color blau verdós. Des de l'antiguitat, els acetats de coure han estat utilitzats com a fungicides i pigments verds. Avui en dia, s'usen com a reactius per a la síntesi de diversos compostos inorgànics i orgànics.

Dissoldre 20 grams d'acetat de coure monohidratat en 200 ml d'aigua destil·lada calenta. Si una escuma del reactiu no es dissolt del tot, afegir unes gotes d'àcid acètic i agitar bé. Tapar la solució, deixar que es refredi i reservar-la per uns dies; en general, s'han de dipositar cristalls espontàniament i creixeran prou grans com per a ser usats en els experiments òptics.

Podem fer cristalls més grans, utilitzant aquests gèrmens, en el procediment general ja descrit. En la imatge s'ha utilitzat un fil de coure com a matriu de creixement.



Acetat de coure hidratat
 $Cu(CH_3COO)_2 \cdot H_2O$
 Monoclínic



Disolem 60 grams de dicromat de sodi en 130 ml d'aigua calenta. Afegim 7,5 g de carbonat de liti en petites cullerades. Quan les bombolles de CO2 s'aturin, afegim 8 g d'hidroxid sòdic lentament i agitem fins a la total dissolució. Tapem la dissolució i la deixem refredar lentament. Si al cap d'un dia no veiem la presència de cristalls, podem agregar gèrmens obtinguts per evaporació d'un gotes de dissolució.

TINGUEU CURA AMB LES SALS DE CROM I LA SEVA ELIMINACIÓ

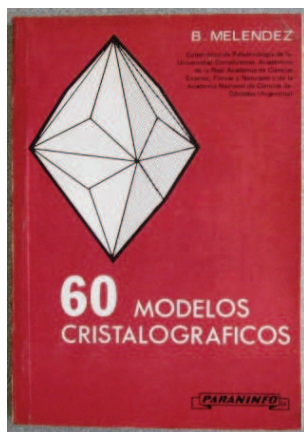


Cromat de sodi i liti hexahidratat
 $Na_3[Li(CrO_4)] \cdot 6H_2O$
 Hexagonal

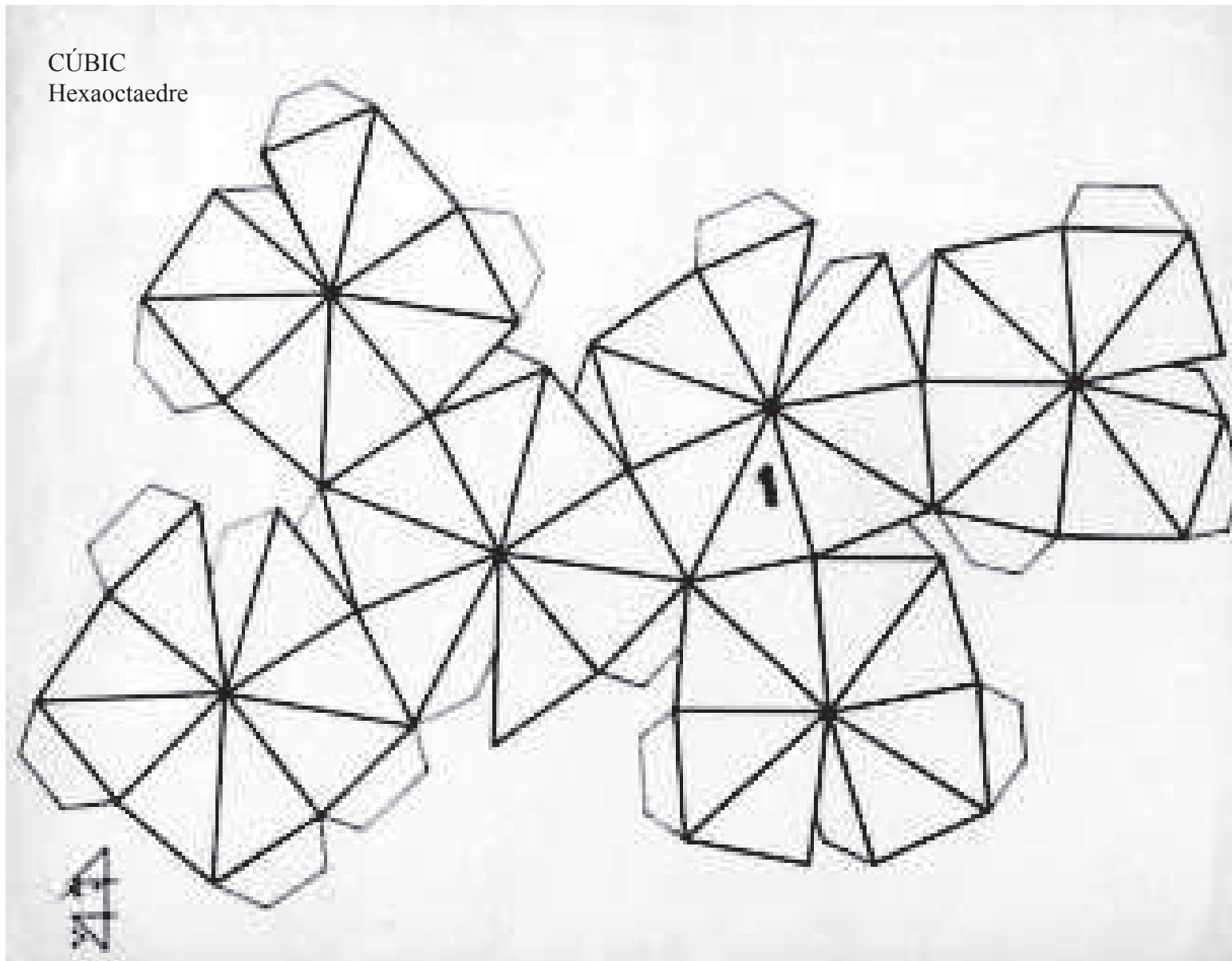
MODELS CRISTAL·LOGRÀFICS

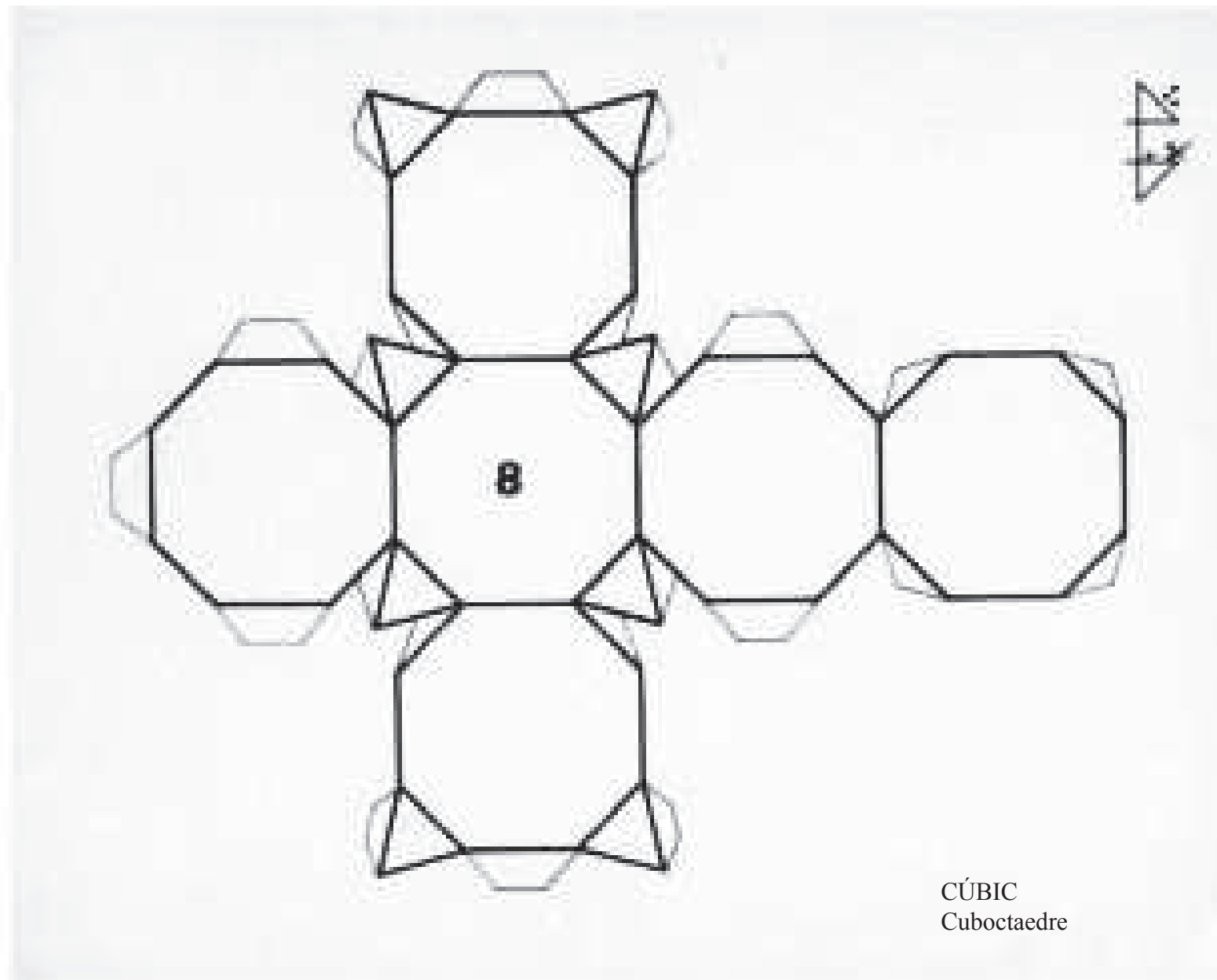
Escaneja o fotocopia els patrons
i augmenta el seu tamny fins on
calgui.

Pots buscar el llibre:
Sesenta Modelos Cristalográficos
de Bermudo Meléndez.
S.A. Ediciones Paraninfo
ISBN 9788428300599
Per uns 5€ tindràs una obra
classica per iniciar-se en la
cristal·lografia.



CÚBIC
Hexaoctaedre





Pots trobar més models
fent una cerca per:
*Modelos cristalográficos
para recortar*



expoMINER
Saló internacional de minerals, fòssils i joieria
Barcelona

14 - 16 NOVEMBRE 2014
RECINTE MONTJUÏC

