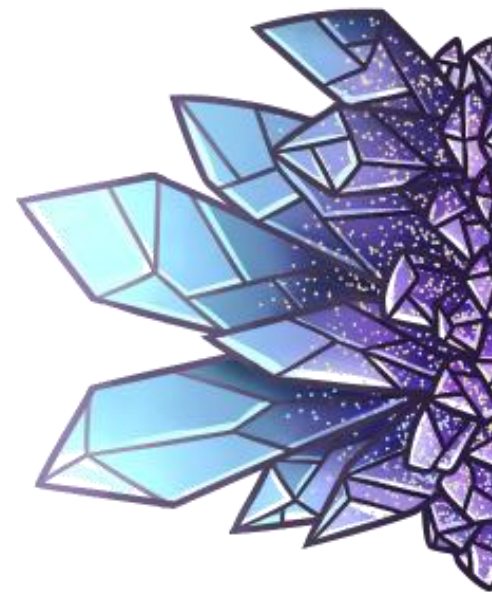


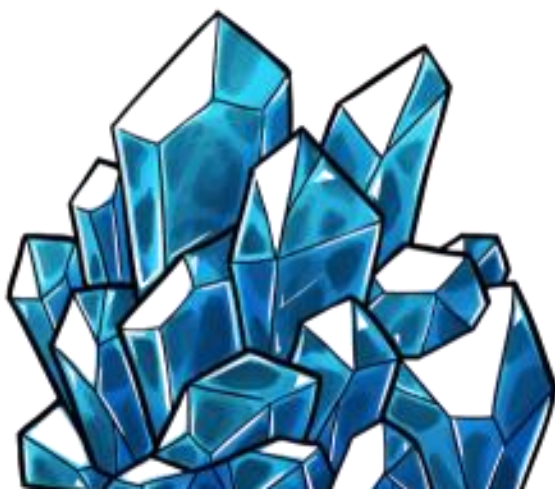
**ESTUDI DE LES VARIABLES
QUE DETERMINEN LA
CRISTAL·LITZACIÓ
DE DIFERENTS SUBSTÀNCIES**



Pseudònim: **Ganesh**

2n Batxillerat

Curs 2020 - 2021



RESUMEN

Debido al interés que me despierta la cristalización, me he planteado hacer un estudio sobre cómo la modificación de determinadas variables condiciona la cristalización de las sustancias.

Una vez recopilada toda la información necesaria para entender el proceso de cristalización, he realizado diversas cristalizaciones con diferentes sustancias modificando variables como la velocidad de enfriamiento o de evaporación de la disolución y su concentración, y he determinado cómo influye cada uno de estos aspectos en cada sustancia. Después he extraído unas conclusiones generales sobre cómo afectan estas variables al tamaño, forma y cantidad de cristales obtenidos.

He podido comprobar cómo la velocidad de evaporación del agua o la concentración de la disolución condicionan muchísimo el tipo de cristal que se obtendrá. Cuanto más rápida sea la evaporación, más pequeño y mal formado será el cristal, y cuanto más lenta, mejor ordenadas estarán las moléculas y mejor forma tendrá el cristal. En el caso de la concentración de la disolución, si es baja se obtendrán pocos cristales pequeños y bien formados, si es más alta se obtendrán cristales grandes y bien formados, pero si la disolución está sobresaturada se formarán muchos cristales muy pequeños y con una forma muy irregular debido al poco espacio que tienen para crecer y a la rápida precipitación. Los mejores cristales se obtienen, entonces, consiguiendo una muy lenta velocidad de enfriamiento de la disolución o de evaporación del disolvente y con una concentración ligeramente saturada.

Finalmente, he podido observar que es imposible obtener dos cristales iguales por mucho que se formen exactamente con las mismas condiciones.

ABSTRACT

Due to my interest in crystallization, I have considered doing a study on how the modification of certain variables determinates the crystallization of substances.

Once all the information necessary to understand the crystallization process has been collected, I have carried out various crystallizations with different substances, modifying variables such as the rate of cooling or evaporation of the solution and its concentration, and I have determined how each one of these aspects influences each substance. Then I have drawn some general conclusions on how these variables affect the size, shape and quantity of crystals obtained.

I have been able to verify how the evaporation rate of the water or the concentration of the solution greatly determines the type of crystal that will be obtained. The faster the evaporation, the smaller and more badly formed the crystal will be, and the slower, the better ordered the molecules and the better shape the crystal will have. In the case of the concentration of the solution, if it is low, few small and well-formed crystals will be obtained, if it is higher, large and well-formed crystals will be obtained, but if the solution is supersaturated, many very small crystals will form and with a very irregular shape due to the little space they have to grow and the rapid precipitation. The best crystals are obtained, then, achieving a very slow rate of cooling of the solution or evaporation of the solvent and with a slightly saturated concentration.

Finally, I have been able to observe that it is impossible to obtain two identical crystals, even though having been formed with exactly the same conditions.

INTRODUCCIÓ	5
1. LA MATÈRIA CRISTAL·LINA	7
1.1. QUÈ ÉS UN CRISTALL?	7
1.2. SISTEMES CRISTAL·LINS	9
1.3. EL PROCÉS DE CRISTAL·LITZACIÓ	14
2. LA GÈNESI DELS MINERALS I ROQUES	15
2.1. MINERALS I ROQUES ENDÒGENES	15
2.1.1. Minerals i roques d'origen magmàtic	16
2.1.2. Minerals i roques d'origen metamòrfic	18
2.2. MINERALS I ROQUES EXÒGENES	20
2.2.1. Roques evaporítiques	20
2.2.2. Roques químiques	20
2.2.3. Roques bioquímiques	21
2.2.4. Roques detrítiques	22
3. CARACTERÍSTIQUES QUÍMIQUES I CRISTAL·LOGRÀFIQUES DE LES SUBSTÀNCIES UTILITZADES	23
3.1. CLORUR DE SODI	23
3.2. SULFAT DE COURE	26
3.3. DIHIDROGENFOSFAT D'AMONI (ADP)	28
4. DISSENY I TREBALL EXPERIMENTAL	30
4.1. TÈCNIQUES DE CRISTAL·LITZACIÓ UTILITZADES	30
4.2. METODOLOGIA APLICADA A AQUEST TREBALL EXPERIMENTAL	31
4.3. CRISTAL·LITZACIÓ DEL CLORUR DE SODI	32
4.3.1. Variable concentració de la dissolució	32
4.3.2. Variable velocitat d'evaporació	37
4.3.3. Variable tipus de clorur de sodi	41
4.4. CRISTAL·LITZACIÓ DEL SULFAT DE COURE	43
4.4.1. Variable concentració de la dissolució	43
4.4.2 Variable velocitat d'evaporació de l'aigua	47
4.4.3 Cristal·lització a partir d'una llavor	49
4.5 CRISTAL·LITZACIÓ DE L'ADP	52
4.5.1 Variable concentració de la dissolució	52
4.5.2. Variable velocitat de refredament de la dissolució	55
4.5.3. Cristal·lització a partir de llavors	59
5. CONCLUSIONS	65
BIBLIOGRAFIA	67

ANNEX I	73
ANNEX II	76
ANNEX III	78
ANNEX IV	83
ANNEX V	84

INTRODUCCIÓ

Aquest treball consisteix en estudiar com influeixen determinades variables en la cristal·lització de substàncies analitzant diferents paràmetres dels cristalls que es formen.

El meu interès a l'hora de decidir el tema era que fos possible incloure una part d'experimentació. A més, degut al confinament, havia de triar un tema per al qual disposés dels recursos necessaris per poder realitzar aquest estudi a casa. Tenint aquests factors en compte em vaig acabar decantant per aquest estudi ja que, d'una banda tenia els recursos necessaris per fer-lo acuradament i, d'altra banda, sempre he tingut interès per descobrir com es formen els cristalls que des de petit he anat veient a les fotos que m'ensenyava el meu pare sobre les cristal·litzacions que havien realitzat els seus alumnes.

En aquest treball es parteix de la hipòtesi que la velocitat amb la que precipita el solut, la concentració de la dissolució i altres variables determinen la forma, mida i la quantitat de cristalls que es formen. Per tant, l'objectiu principal de l'estudi és esbrinar com aquestes variables afecten a la formació dels cristalls simulant a nivell de laboratori el procés natural de cristal·lització de molts minerals.

A la part teòrica del treball (capítols 1, 2 i 3) s'explica el procés de la cristal·lització i la gènesi dels minerals i les roques que formen. També estan incloses les característiques físiques i químiques de les substàncies utilitzades al treball experimental. La part pràctica (capítol 4) es basa en realitzar cristal·litzacions amb tres substàncies diferents: clorur de sodi (NaCl), sulfat de coure pentahidratat ($\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) i dihidrogenfosfat d'amoni ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{SO}_4$), i analitzar detalladament els cristalls obtinguts a partir de mostres on s'hi ha alterat les diferents variables que es vol estudiar.

Cada variable consta d'una hipòtesi i una interpretació de resultats per a cada substància, on s'explica científicament per què s'han obtingut uns determinats resultats.

Finalment, un cop comparades les diferents interpretacions de resultats, s'arriba a conclusions generals de com influeix cada variable en el procés de cristallització (capítol 5).

Cal destacar que no és un treball senzill de realitzar ja que, d'una banda, hi ha massa informació a internet, la qual cosa obliga a llegir molt i seleccionar-la amb cura, donat que no tota la informació que trobem a la xarxa és correcta i n'hi ha molta que està redactada en un registre massa científic que és difícil d'entendre. D'altra banda, també se l'hi han de dedicar moltes hores a la part pràctica, ja que requereix dedicar una tarda sencera cada setmana elaborant dissolucions de manera molt organitzada, perquè cal apuntar correctament totes les dades i classificar bé les fotografies. Tot i així, és un treball molt divertit i didàctic que aporta molta informació per aprendre una mica de geologia i química.

1. LA MATÈRIA CRISTAL·LINA

1.1. QUÈ ÉS UN CRISTALL?

Un cristall és una forma sòlida en la que els àtoms, molècules o ions que el formen s'agrupen de manera ordenada i amb patrons de repetició tridimensionals, és a dir, en les tres dimensions de l'espai [Fig.1].

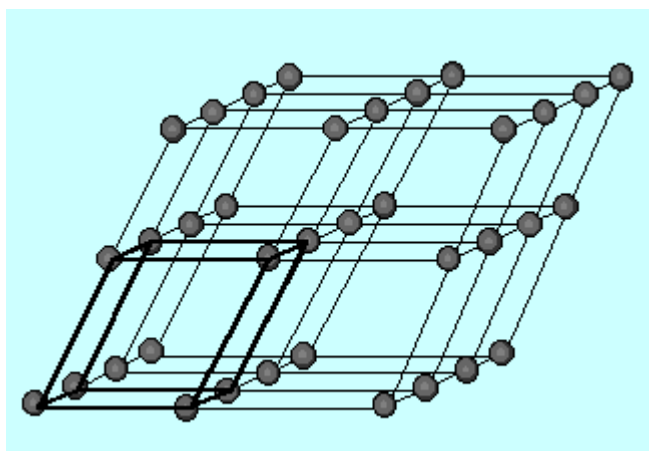


Fig. 1 Molècules ordenades formant patrons de repetició tridimensionals

Font: https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm03/pfcm3_3_4.html

No tots els sòlids són matèria cristal·lina, ja que no sempre es donen les condicions de temperatura, pressió i refredament adequades per formar cristalls. Quan els àtoms que formen el sòlid no s'ordenen, no formen cristalls, sinó que formen un altre tipus de matèria: la matèria amorfa [Fig. 2].

Per exemple, si el silici pur es troba en les condicions òptimes per cristal·litzar formarà el quarz. D'altra banda, si no té aquestes condicions, pot formar-se l'obsidiana.

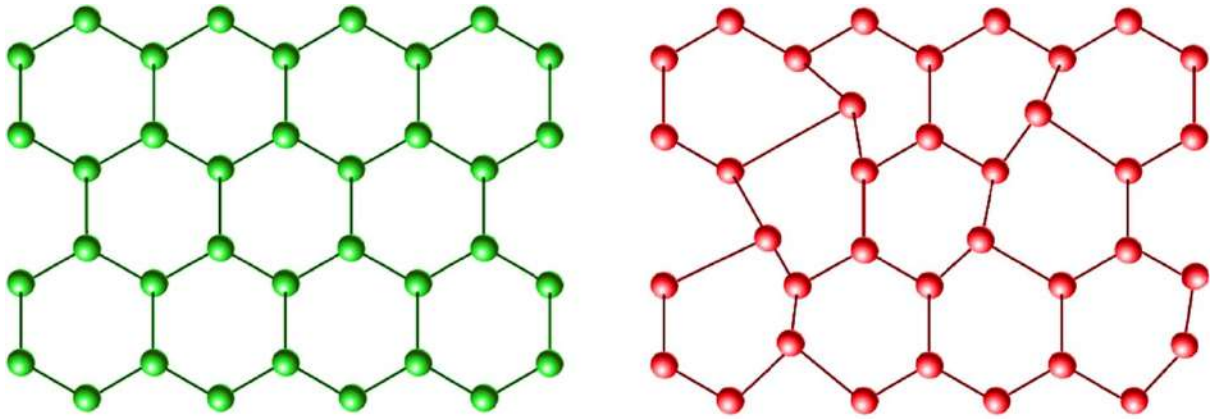


Fig. 2 Diferència a nivell molecular entre la matèria cristal·lina (verd) i la matèria amorfa (vermell)

Font: https://cursos-0-fc-ugr.github.io/Geologia/Tema3/geologia_3_1.html

Els cristalls tendeixen a tenir la mateixa aparença de l'estructura en la que s'agrupen les seves molècules a nivell macroscòpic. Per exemple, en el clorur de sodi els seus ions formen octaedre, per tant els cristalls tenen forma de octaedre a no ser que aquests hagin sigut erosionats o mutilats d'alguna manera. Si trobes un diamant natural, normalment no tindrà forma de tetraedre (figura geomètrica en la que s'agrupen els àtoms de carboni per formar diamants), tindrà aspecte irregular, ja que durant tots els milions d'anys que s'ha estat refredat, no ha tingut prou espai com per desenvolupar cares i arestes, i ha hagut de créixer per on trobava espai, tot i que a nivell atòmic els àtoms de carboni si que estan ordenats.

1.2. SISTEMES CRISTAL·LINS

Les molècules de la matèria cristal·lina es poden agrupar en set sistemes cristal·lins diferents, els quals es defineixen basant-se en les longituds de les arestes i els angles que formen entre si. Els sistemes cristal·lins són els següents:

- Cúbic:

El sistema cúbic o isomètric és un dels sistemes més comuns en minerals, com per exemple la pirita o el clorur de sodi. En aquest sistema, tots els angles i costats són iguals, és a dir, $a = b = c$ i $\alpha = \beta = \gamma$. Hi ha tres varietats principals:

1. Cúbic simple: les molècules es col·loquen als vèrtexs
2. Cúbic centrat: les molècules es col·loquen als vèrtexs, però també n'hi ha una al mig del cub.
3. Cúbic centrat a les cares: les molècules es col·loquen als vèrtexs del cub, però també se'n col·loquen als centres de les sis cares del cub.

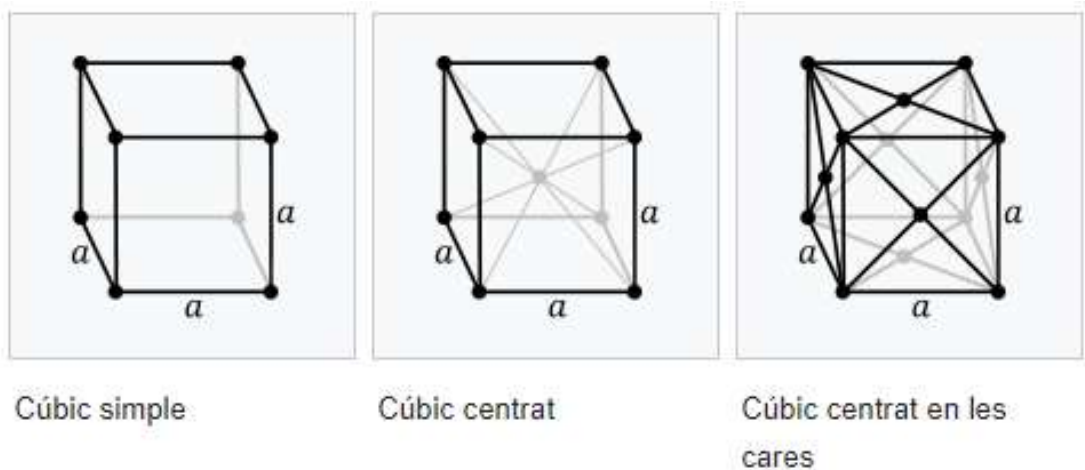


Fig. 3 Les 3 varietats principals del sistema cristal·lí cúbic

Font: https://ca.wikipedia.org/wiki/Sistema_cristal%C2%B7l%C3%AD_c%C3%BAbic

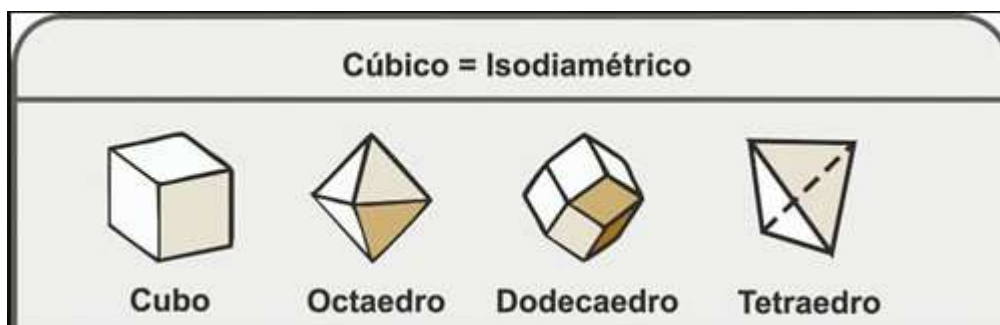


Fig. 4 Formes comunes del sistema cristal·lí cúbic

Font: http://www.insugeo.org.ar/libros/misc_21/03.htm

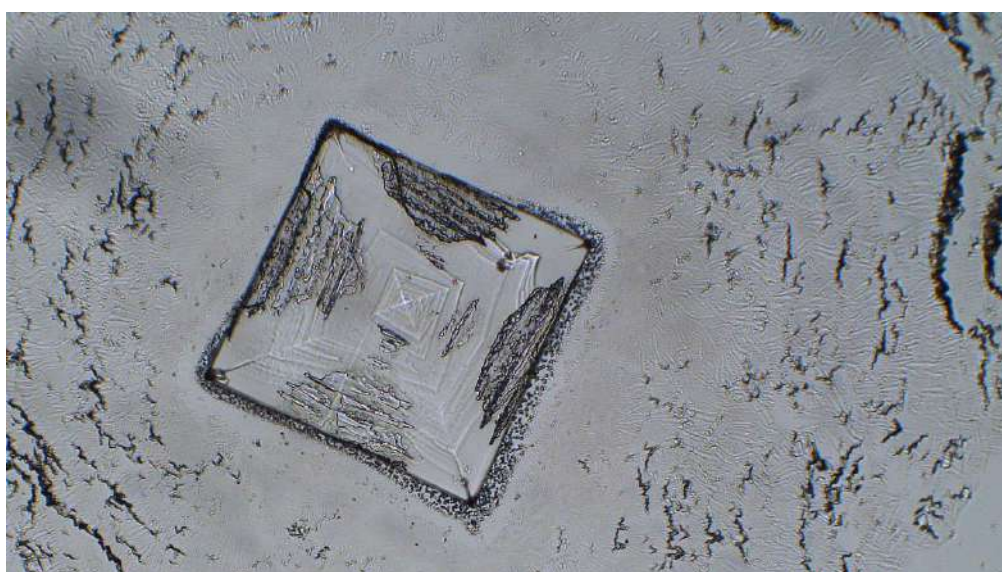


Fig. 5 Cristall de clorur de sodi vist al microscopi

Font: autor del treball

- Trigonal:

Aquest sistema també és un dels més comuns i és l'estructura molecular de molts minerals, com per exemple la turmalina o el robí. Alguns experts no el consideren un sistema cristal·lí, sinó una variable del sistema hexagonal. Altres diuen que el sistema trigonal és el mateix que el romboèdric (una de les classes de sistema cristal·lí trigonal), però això no és així ja que tots els cristalls romboèdrics són trigonals, però no tots els trigonals són romboèdrics.

Aquesta estructura té tres angles diferents a l'angle recte, mentre que les tres arestes són iguals. El que el diferencia dels altres sistemes cristal·lins és la presència d'un únic eix de simetria ternari (repeteix elements idèntics cada 120°).

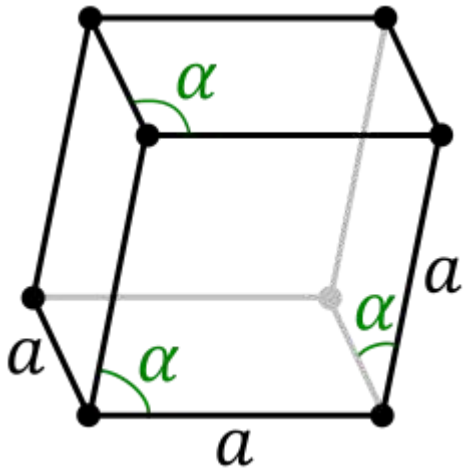


Fig. 6 Sistema trigonal romboèdric on $a = b = c$ i $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$

Font: https://www.wikiwand.com/es/Sistema_cristalino_trigonal

- Hexagonal:

Aquest sistema cristal·lí té forma de prisma hexagonal amb una molècula al mig de cada hexàgon. El beril·li és un dels minerals que poden formar cristalls en aquest sistema cristal·lí. En aquest sistema $a = b \neq c$ i $\alpha = \beta = 90^\circ$ i $\gamma = 120^\circ$.

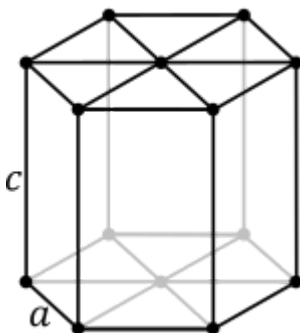


Fig. 7 Sistema hexagonal

Font: <https://es.wikipedia.org/>



Fig. 8 Cristall de beril·li (Sistema hexagonal)

Font: https://ca.wikipedia.org/wiki/Sistema_hexagonal

- **Tetragonal:**

La figura que formen les molècules en aquest sistema és la d'un prisma amb base quadrada. Podríem dir que és com si agaféssim un cub i l'estiréssim per un dels costats. Per tant, $a = b \neq c$ i $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$. També podem tenir aquesta xarxa amb una molècula al mig del prisma, i s'anomenada "centrada en el cos tetragonal". La calcopirita és un exemple de mineral que cristal·litza en aquest sistema.

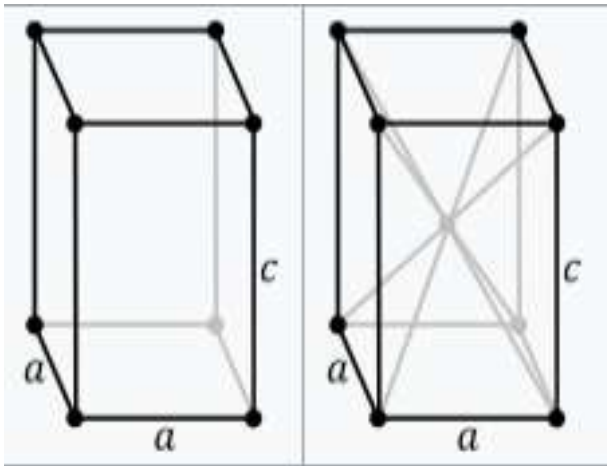


Fig. 9 Sistema tetragonal primitiu (normal) i centrat en el cos (molècula al mig)

Font: https://es.qwe.wiki/wiki/Tetragonal_crystal_system

- **Ortoròmbic:**

Aquest sistema es caracteritza per tenir els tres angles de 90° i tots els costats diferents, és a dir, $a \neq b \neq c$ i $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$. L'olivina i el topazi són dos minerals que formen cristalls en aquest sistema.

Hi ha 4 tipus de sistema ortoròmbic:

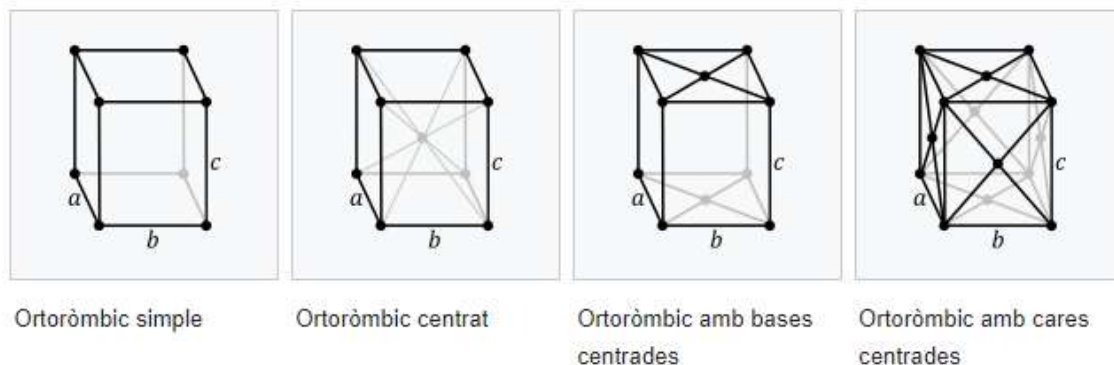


Fig. 10 Tipus de sistema ortoròmbic

Font: https://ca.wikipedia.org/wiki/Sistema_ortor%C3%B2mbic

- Monoclínic:

Aquest sistema forma un prisma rectangular amb un paral·lelogram a la base. Per tant, dos vectors són perpendiculars, mentre que el tercer és diferent a 90° amb els altres dos. Els tres costats també són diferents entre si, això vol dir que $a \neq b \neq c$ i $\alpha = \gamma = 90^\circ$; $\beta \neq 90^\circ$. La ortoclasi cristal·litza en aquest sistema.

Hi ha dos tipus de sistema monoclínic:

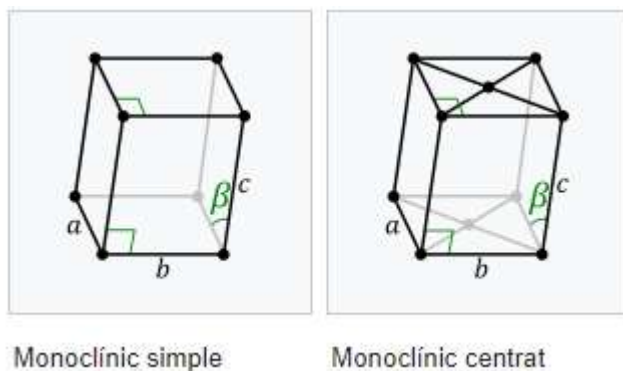


Fig. 11 Tipus de sistemes monoclínic

Font: https://ca.wikipedia.org/wiki/Sistema_monocl%C3%ADnic

- **Triclínic:**

En el sistema triclínic tots els costats i angles són diferents, tot i que algun dels angles pot ser de 90° . Per tant, $a \neq b \neq c$ y $\alpha \neq \beta \neq \gamma$. El sulfat de coure hidratat o calcantita és un mineral que cristal·litza en aquest sistema, encara que de vegades es confon amb el sistema ortoròmbic.

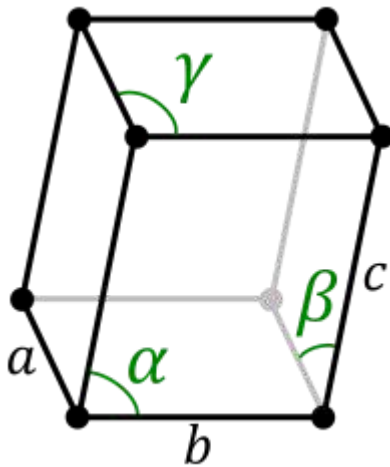


Fig. 12 Sistema triclínic

Font: https://ca.wikipedia.org/wiki/Sistema_tricl%C3%ADnic

1.3. EL PROCÉS DE CRISTAL·LITZACIÓ

La cristal·lització té lloc en dues etapes: la formació del cristall, que rep el nom de “nucleació”, i el creixement del cristall. La força impulsora de les dues etapes és la sobresaturació, de manera que ni la nucleació ni el creixement del cristall es donaran per sota de la corba de saturació.

La nucleació és el naixement de cossos sòlids molt petits dins d'un medi líquid sobressaturat.

Per assolir la nucleació el sistema ha de superar una barrera d'energia: s'ha de formar un nucli d'àtoms suficientment gran per tal de superar-la. Per sobre d'un radi crític els nuclis són estables i poden créixer, per sota es dissoldran de nou.

Es distingeixen principalment dos tipus de nucleació: la nucleació primària i la nucleació secundària.

- La nucleació primària es dona en el si del fluid (és espontània i requereix la major sobresaturació), o bé es veu afavorida per la presència de partícules sòlides o parets o altres elements del cristal·litzador.
- La nucleació secundària està catalitzada per la presència de cristalls macroscòpics en la dissolució, de manera que perquè tingui lloc cal que hi hagi existit una cristal·lització prèvia, o bé que se sembrin cristalls amb el propòsit d'induir aquest tipus de nucleació.

D'altra banda, el creixement del cristall consisteix en la incorporació de noves molècules al nucli ja format i estable. Quan apareix un nucli, aquest actua com un punt de convergència per a les molècules adjacents al cristall, de manera que creix en forma de capes successives.

2. LA GÈNESI DELS MINERALS I ROQUES

No tots els minerals es formen de la mateixa manera ni amb les mateixes condicions ni al mateix lloc. Per això podem classificar els minerals en dos grans grups segons on s'han format aquests minerals.

2.1. MINERALS I ROQUES ENDÒGENES

Els minerals i les roques endògenes són tots aquells que s'han format per sota la superfície terrestre.

2.1.1. Minerals i roques d'origen magmàtic

Les roques i minerals magmàtics, també coneguts com a minerals i roques ígnies, s'originen a partir del magma que es troba a l'interior de la Terra. La formació d'aquests pot ser deguda a la disminució de la temperatura del magma o de la pressió a la que es troba. Segons el lloc on s'ha refredat el magma podem classificar els minerals i les roques ígnies en tres grups:

- **Minerals i roques plutòniques:**

Les roques i minerals plutòniques o intrusives son aquelles que es formen a partir d'un refredament lent, a gran profunditat i en grans masses del magma. Aquest tipus de roques són les més abundants, i predominen a la composició del planeta Terra. El mantell terrestre està format en la seva totalitat per roques plutòniques, i la major part del volum de l'escorça és composta per aquestes. Durant la formació de les roques plutòniques el refredament és molt lent, permetent així, el creixement de cristalls de minerals purs i resultant una forma heterogènia a simple vista.



Fig. 13 El granit és una roca plutònica formada per quars, feldespat i mica

Font: https://es.123rf.com/profile_vvoenny

- Minerals i roques volcàniques:

En el cas dels minerals i roques volcàniques, la seva gènesi es deguda a un refredament molt ràpid a causa del contacte del magma amb l'aigua o aire. Al tenir un refredament tan ràpid es formen masses vítries, que no han tingut temps de cristallitzar, o de vegades es formen petits cristalls anomenats microcristalls, que li donen a la roca o al mineral un aspecte semblant al del vidre.



Fig. 14 El basalt és un tipus molt comú de roca volcànica

Font: <https://www.focuspedra.com/>

- Minerals i roques filonianes:

Els minerals i roques filonianes, també anomenades subvolcàniques o hipoabissals, es formen quan el magma s'introdueix per fissures o esquerdes i allà es refreda, en contacte amb roques de l'escorça terrestre, que estan més fredes que el magma. El refredament és força ràpid, però no tant com el de les roques i minerals volcànics.



Fig. 15 La pegmatita es una roca filoniana amb la mateixa composició que el granit

Font: <http://www2.montes.upm.es/>

2.1.2. Minerals i roques d'origen metamòrfic

Aquesta categoria està formada per roques i minerals que, tot i que inicialment eren magmàtics o sedimentaris, pateixen posteriorment canvis en ser sotmesos a grans temperatures i/o pressions. Això dona lloc a un procés anomenat metamorfisme, on canvia l'estructura cristal·lina del mineral sense que hi hagi un canvi d'estat. Hi ha tres tipus de metamorfisme:

- **Metamorfisme tectònic:** El metamorfisme tectònic, també anomenat metamorfisme dinàmic, es produeix a gran profunditat, quan el moviment de cisallament de les falles provoca que els minerals i roques recristalitzin, sense requerir un canvi de temperatura o pressió.



Fig. 16 La milonita és una roca formada per metamorfisme de tectònic

Font: <https://en.todocoleccion.net/collectable-minerals/>

- **Metamorfisme de contacte:** També és conegut com a metamorfisme tèrmic. Es produeix per la intrusió de magma en roques ja formades. El contacte d'aquest material a gran temperatura amb les roques encaixants dóna lloc a la formació de minerals nous com les corneanas.



Fig. 17 Les corneanas són roques formades per un procés metamòrfic de contacte

Font: <https://ca.wikipedia.org/wiki/Cornubianita>

- **Metamorfisme regional:** Aquest tipus de metamorfisme es produeix quan hi ha un augment simultani de la pressió i de la temperatura durant llargs períodes de temps i a grans àrees de l'escorça terrestre on hi ha una gran activitat tectònica. Les pissarres, fil·lites, esquistos, o els gneis són exemples de metamorfisme regional.



Fig. 18 Les pissarres són un dels exemples més coneguts de metamorfisme regional

Font: <https://www.pinterest.com/pin/218495019400495177/>

2.2. MINERALS I ROQUES EXÒGENES

Són tots aquells minerals i roques la formació dels quals ha tingut lloc per sobre la superfície terrestre com a conseqüència de la interacció entre roques, l'atmosfera i la hidrosfera. Dins d'aquest gran grup podem classificar els minerals i les roques de quatre maneres diferents segons la seva gènesi.

2.2.1. Roques evaporítiques

Les roques evaporítiques o evaporites són roques que es formen per la cristal·lització de sals dissoltes a llacs i mars de la costa quan l'aigua s'evapora i aquestes sals precipiten. La cristal·lització requereix que l'aigua estigui sobresaturada per les sals que conté.



Fig. 19 L'halita és una roca evaporítica formada per cristalls de clorur de sodi

Font: <https://www.ecured.cu/Evaporita>

2.2.2. Roques químiques

Les roques químiques són aquelles roques que es formen per la precipitació del solut a solucions aquoses salines concentrades. És pràcticament el mateix procés que amb les roques evaporítiques, la diferència és que a les roques químiques l'aigua no s'ha d'evaporar, ja que la precipitació es pot produir per una disminució de temperatura, com l'ADP, o per reaccions químiques, com el carbonat de calci.



Fig. 20 La calcària és una roca sedimentaria química formada majoritàriament per carbonat de calci (CaCO_3)

Font: <https://www.biodiversidadvirtual.org/geologia/>

2.2.3. Roques bioquímiques

Les roques bioquímiques estan formades per restes d'éssers vius. Aquests éssers vius són capaços d'extreure els ions dissolts en aigua, i utilitzar-los per formar petxines i closques que els serveixen com a habitatge o protecció. Quan aquests éssers vius moren, les closques s'acumulen al fons dels oceans i a través d'un procés de diagènesi formen les roques sedimentaries bioquímiques.



Fig. 21 La calcària nummulítica té la mateixa composició que la roca calcària, però aquesta ha estat formada per sedimentació clàstica, a més d'un procés químic

Font: <https://www.foro-minerales.com/>

2.2.4. Roques detrítiques

Les roques sedimentàries detrítiques o clàstiques provenen de sediments erosionats d'altres roques. Aquests sediments són transportats per l'aigua, el gel o el vent fins que es dipositen quan l'agent geològic que els transporta no té prou energia. Finalment, es compacten i a través de la diagènesi es formen les roques detrítiques.



Fig. 22 Un conglomerat és una roca detrítica format per fragments d'altres roques

Font: <https://centrocampillo.wordpress.com>

3. CARACTERÍSTIQUES QUÍMIQUES I CRISTAL·LOGRÀFIQUES DE LES SUBSTÀNCIES UTILITZADES

3.1. CLORUR DE SODI

El clorur de sodi, més conegut com a sal comuna, és un dels minerals més abundants del planeta i és un nutrient essencial per a molts animals i plantes. Es troba de forma natural a l'aigua del mar, raó per la qual l'aigua del mar és salada (conté 10,7g/litre de sodi i 11,7g/litre de clorurs, aquests componen en un 30,75% i un 55,29% respectivament la quantitat total de soluts a l'aigua marina). Està formada per un catió sodi Na^+ i un anió clorur Cl^- . El clorur de sodi és soluble en aigua, que és on el dissoldrem per formar els cristalls. La seva solubilitat és de 35,7g de NaCl en 100 ml d'aigua, és a dir, 357g per cada litre d'aigua a 0 °C. Si augmentem la temperatura, la quantitat de solut que podem dissoldre abans de sobresaturar (quan ja no es pot dissoldre més solut) la solubilitat augmenta, per exemple, a 100 °C podem dissoldre 39,8 g de NaCl a 100 ml d'aigua.

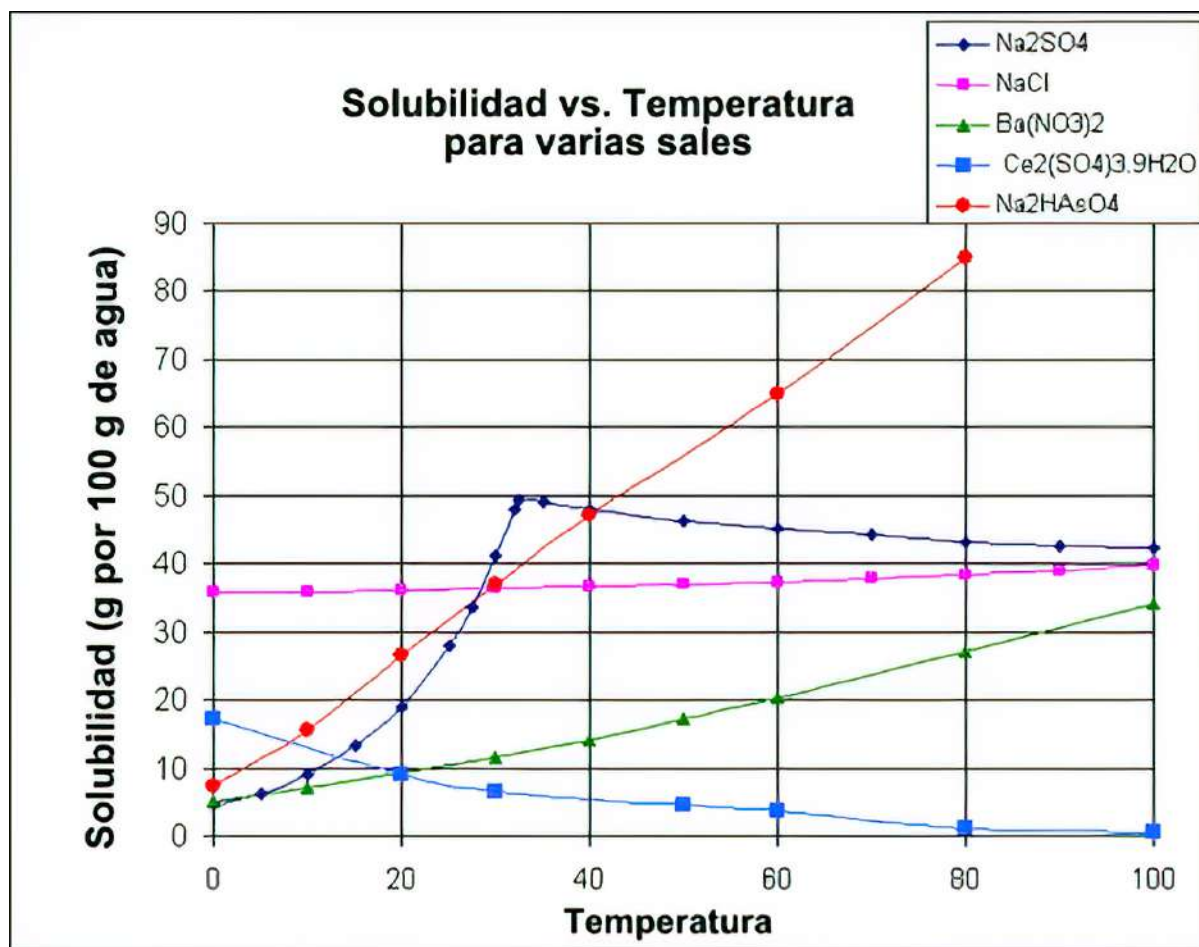


Fig. 23 Corba de solubilitat del clorur de sodi (Color Rosa)

Font: <https://es.wikipedia.org/wiki/Solubilidad>

L'estructura cristal·lina del Clorur de Sodi és cúbica, en la que cada anió es troba envoltat per 6 cations, i viceversa, formant un octaedre; per tant, té una coordinació (6,6) on els números indiquen els nombres de veïns que té cada ió. El nombre de la dreta fa referència als anions que envolten el catió Na⁺ i el nombre de l'esquerra indica els cations que envolten l'anió Cl⁻. Això vol dir que els cristalls tindran forma de cub perfecte mirats al microscopi, tot i que a simple vista es pot arribar a apreciar. Al ser sistema cúbic, $x = y = z$, i $\alpha = \beta = \gamma$, tots els costats són iguals i tots els angles són iguals. En el cas del clorur de sodi, pot donar dues morfologies diferents: cubs i octaedres.

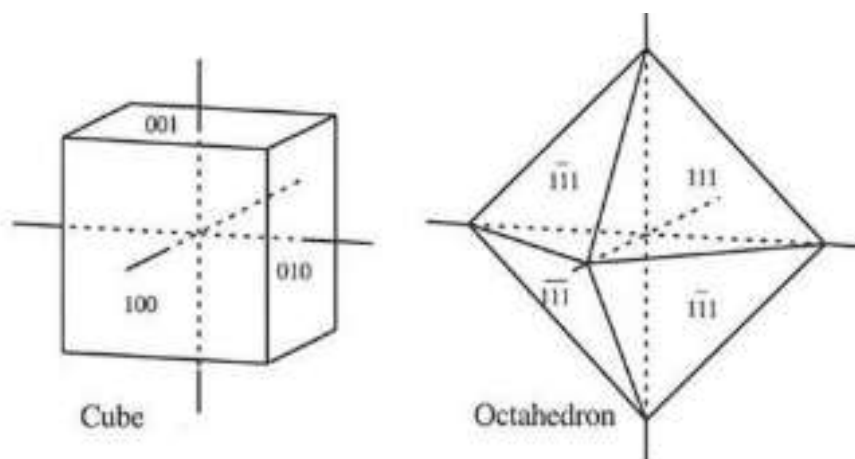


Fig. 24 Morfologies del clorur de sodi corresponents al sistema cristal·lí cúbic

Font: http://www.ugr.es/~ipalomo/pages/PE/Cubico/pag_07.htm

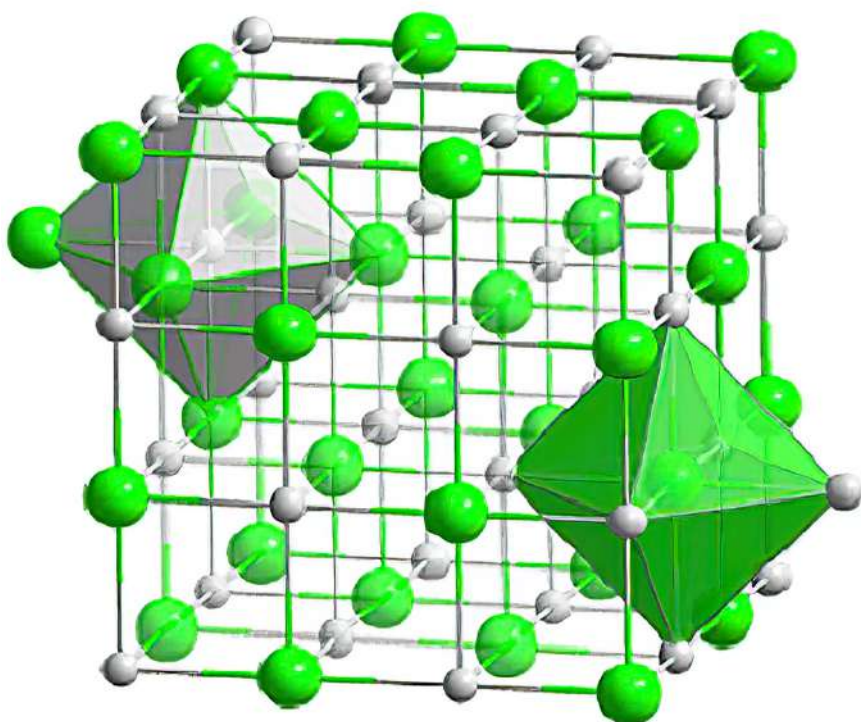


Fig. 25 Estructura cristal·lina del NaCl

Font: By Solid State [Public domain], from Wikimedia Commons

La imatge representa l'estructura cristal·lina cúbica on les esferes verdes són els anions Cl^- i les blanques són els cations Na^+ . Els octaedres representen com els ions estan envoltats per sis ions de l'altre element.

3.2. SULFAT DE COURE

El sulfat de coure és un compost inorgànic amb la fórmula química $\text{CuSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, on la x pot ser un nombre del 0 al 5. Jo per fer les pràctiques utilitzaré el sulfat de coure pentahidratat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), que és el més comú. Aquest compost es caracteritza pel seu color blau brillant, ja sigui en forma de pols o cristal·litzat. Es pot trobar de forma natural, i en aquest cas, el mineral rep el nom de calcantita. La fórmula d'aquest compost ens diu que per cada mol de sulfat de coure(II) tindrà 5 mols d'aigua (H_2O). Per crear cristalls de sulfat de coure també l'hem de dissoldre en aigua, on té una solubilitat de 21g/100ml a 20°C de temperatura. A diferència del clorur de sodi, aquest compost és tòxic per als humans i la seva consumició pot causar nàusees i vòmits, i si s'escalfa a molta temperatura, pot produir vapors o fums tòxics.



Fig. 26 Calcantita

Fonts: <https://es.wikipedia.org/wiki/Calcantita>

Temperatura °C	Solubilidad g/L
20	210
30	245
40	290
50	340
60	400
70	470
80	550

CuSO₄
El sulfato de cobre (II) es un sólido de color azul soluble en agua.

Fig. 27 Solubilitat del sulfat de coure en aigua

Font: <https://www.goconqr.com/quiz/13664568/soluciones-qu-micas>

El sulfat de coure cristal·litza en el sistema triclínic, sent la seva forma bàsica un prisma oblic amb base rectangular.

$$a \neq b \neq c, \quad \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90$$

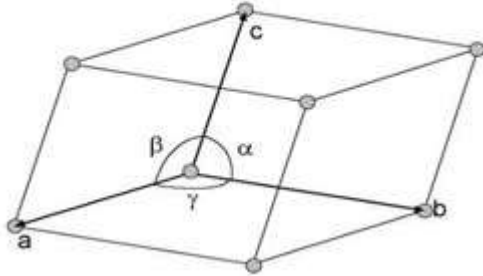


Fig. 28 Estructura cristal·lina del sistema triclínic

Font: <http://www.escritoscientificos.es/trab1a20/sulfato.htm>



Fig. 29 Cristalls de sulfat de coure

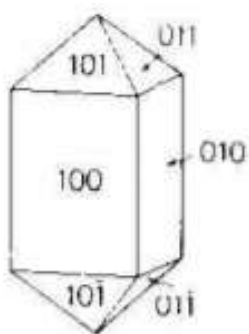
Font: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Cristales-de-sulfato-de-cobre-II_fig1_275348593

3.3. DIHIDROGENFOSFAT D'AMONI (ADP)

El dihidrogenfosfat d'amoni o ADP és un compost format per cations amoni NH_4^+ i anions dihidrogenfosfat H_2PO_4^- , i la seva fórmula química és $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$. És una sal que té un color blanc o verdós depenent de les impureses que contingui, que s'obté quan reacciona l'amoniac amb l'àcid fosfòric: $\text{NH}_3 + \text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow (\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$.

Per cristal·litzar l'ADP es fa amb la tècnica de refredament lent d'una dissolució, i cristal·litza en el sistema tetragonal, de tal manera que la xarxa cristal·lina que formen els seus ions és d'un tetraedre. D'altra banda, l'hàbit cristal·lí (aspecte macroscòpic dels minerals) pot ser prismàtic o bipiramidal [Fig. 30].

Prismàtic [010]



i bipiramidal[011]

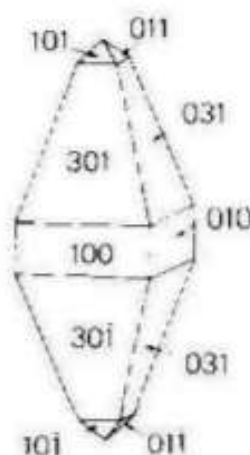


Fig. 30 Hàbit cristal·lí de l'ADP

Font: <http://www.ub.edu/laubdivulga/concurscristalitzacio/>



Fig. 31 Cristall d'ADP

Font: <http://www.ub.edu/laubdivulga/concurscristalitzacio/>

El seu punt de fusió és a 190°C i la seva solubilitat en aigua és de 370 g/l a 25°, tot i que aquest valor augmenta amb la temperatura com es pot apreciar a la seva corba de solubilitat:

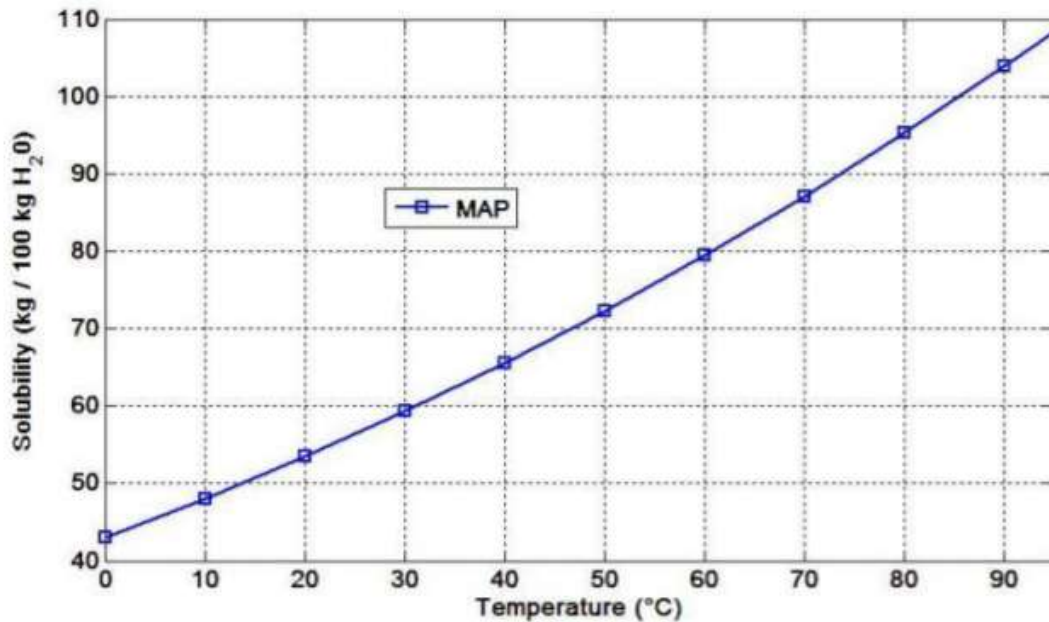


Fig. 32 Corba de solubilitat de l'ADP

Font: <https://pilargarcia2014.files.wordpress.com/2016/12/cristalizacion3b3n-adp.pdf>

4. DISSENY I TREBALL EXPERIMENTAL

4.1. TÈCNIQUES DE CRISTAL·LITZACIÓ UTILITZADES

No tots els cristalls s'han format de la mateixa manera, ja que hi ha moltes tècniques diferents per les quals es pot formar un cristall. Aquestes són les que he utilitzat jo en el meu treball experimental:

- **Evaporació del dissolvent:** aquest mètode consisteix a fer una dissolució i deixar que s'evapori lentament. En evaporar-se el dissolvent, el solut va precipitant poc a poc i es van formant petits cristalls que poc a poc es van fent més grans. Aquesta tècnica és la que s'utilitza per cristal·litzar el clorur de sodi i el sulfat de coure.
- **Refredament d'una dissolució:** es prepara una dissolució concentrada a altes temperatures, i es deixa refredar, de tal manera que al baixar la temperatura, la dissolució queda sobresaturada i el solut va precipitant lentament i amb temps suficient perquè les molècules es vagin ordenant i es formin cristalls. En aquest mètode el dissolvent no s'evapora, simplement baixa la temperatura, i com més lentament baixi, més temps tindran les molècules per ordenar-se, per tant sortiran cristalls més ben formats. Aquest mètode és el que s'utilitza per cristal·litzar l'ADP.

4.2. METODOLOGIA APLICADA A AQUEST TREBALL EXPERIMENTAL

La part pràctica d'aquest treball serà, tal i com indica el títol del treball, un estudi de les variables que determinen la cristal·lització de diferents substàncies.

He decidit treballar amb tres substàncies que tenen una cristal·lització ràpida i eficient, i amb les quals puc simular a nivell de laboratori el procés natural de cristal·lització. Aquestes substàncies són les tres que he explicat al capítol anterior: el clorur de sodi o sal comuna (NaCl), el sulfat de coure pentahidratat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) i el dihidrogenfosfat d'amoni o ADP ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$).

Per a cada substància he decidit estudiar tres variables diferents:

- **Clorur de sodi:** velocitat d'evaporació de l'aigua, concentració de la dissolució i tipus de clorur de sodi.
- **Sulfat de coure:** velocitat d'evaporació de l'aigua, concentració de la dissolució i cristal·lització a partir d'una llavor.
- **ADP:** velocitat de refredament de la dissolució, concentració de la dissolució i cristal·lització a partir d'una llavor.

Per a cadascuna de les variables de cada substància he intentat fer més d'una pràctica, per així poder demostrar que els resultats obtinguts són fiables i no casualitat. Cada pràctica té una petita descripció, un procediment i un resultat que consta d'una imatge i d'una descripció dels resultats obtinguts. Cada variable de cada substància també té una interpretació de resultats, on s'analitzen els resultats obtinguts a les pràctiques realitzades i s'hi dona una explicació científica de perquè s'han obtingut aquests resultats.

Finalment, el treball consta d'unes conclusions, en les quals es resumeix l'anàlisi de resultats de totes les variables.

4.3. CRISTAL·LITZACIÓ DEL CLORUR DE SODI

4.3.1. Variable concentració de la dissolució

La primera variable que he volgut treballar amb el clorur de sodi ha sigut la concentració de la dissolució. Per treballar-la el que he fet ha sigut preparar dissolucions de diferent concentració i deixar que l'aigua s'evaporés a la mateixa velocitat, per així poder analitzar la diferència entre els cristalls que es formen.

Hipòtesi:

Si s'augmenta la concentració d'una dissolució els cristalls que es formaran seran més grans que si la dissolució està mal formada, ja que aquests tindran més quantitat de clorur de sodi per créixer més.

Pràctica 1

En aquesta pràctica he volgut comprovar la diferència entre els cristalls que es formen a una dissolució sobresaturada i a una que té una concentració més baixa.

Procediment:

Per elaborar les dues dissolucions he començat escalfant mig litre d'aigua aproximadament i l'he repartit en dos cristal·litzadors posant 200ml d'aigua a cada un. A continuació he dissolt 30,0g de clorur de sodi en un dels cristal·litzadors, i a l'altre hi he anat afegint clorur de sodi fins arribar a la sobresaturació amb un total de 55,1g. Finalment he deixat reposar els dos cristal·litzadors a una temperatura ambient de 22°C.

Resultat:

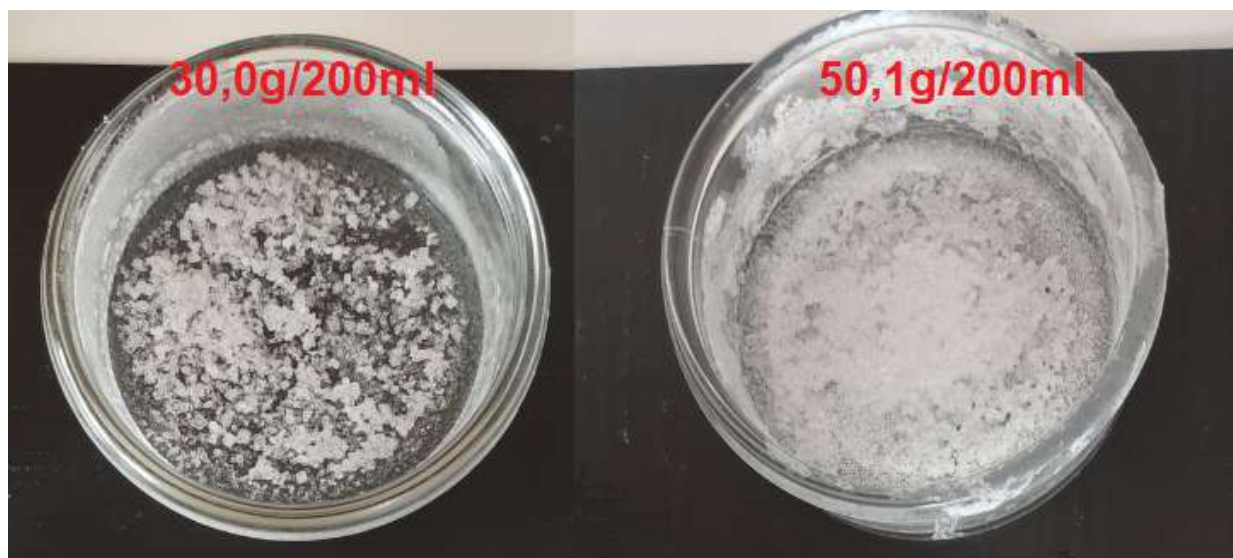


Fig. 33 Comparació de dissolucions de clorur de sodi de diferent concentració amb la mateixa velocitat de refredament

Font: autor del treball

Tal i com es pot apreciar a la imatge [Fig. 33], els cristalls de clorur de sodi que s'han format a la dissolució menys concentrada són més grans i, a simple vista, es pot apreciar la forma cúbica dels cristalls. A la dissolució més concentrada es pot observar que hi ha molta més quantitat de cristalls de clorur de sodi, però aquests no tenen la forma de cub que haurien de tenir segons l'hàbit cristal·lí del clorur de sodi.

Pràctica 2

A la segona pràctica, estudiant la variable de concentració de la dissolució, he volgut comprovar la diferència entre els cristalls formats a partir de concentracions diferents, però aquest cop disminuint les concentracions respecte la pràctica anterior.

Procediment:

Per a aquesta pràctica he repetit el mateix procés que a la pràctica anterior, però canviant la quantitat de clorur de sodi que he dissolt a cada cristal·litzador. En aquest cas he fet una dissolució de 15,0g/200ml i una altre de 7,5g/200ml; és a dir, una concentració és el doble que l'altre.

Resultat:

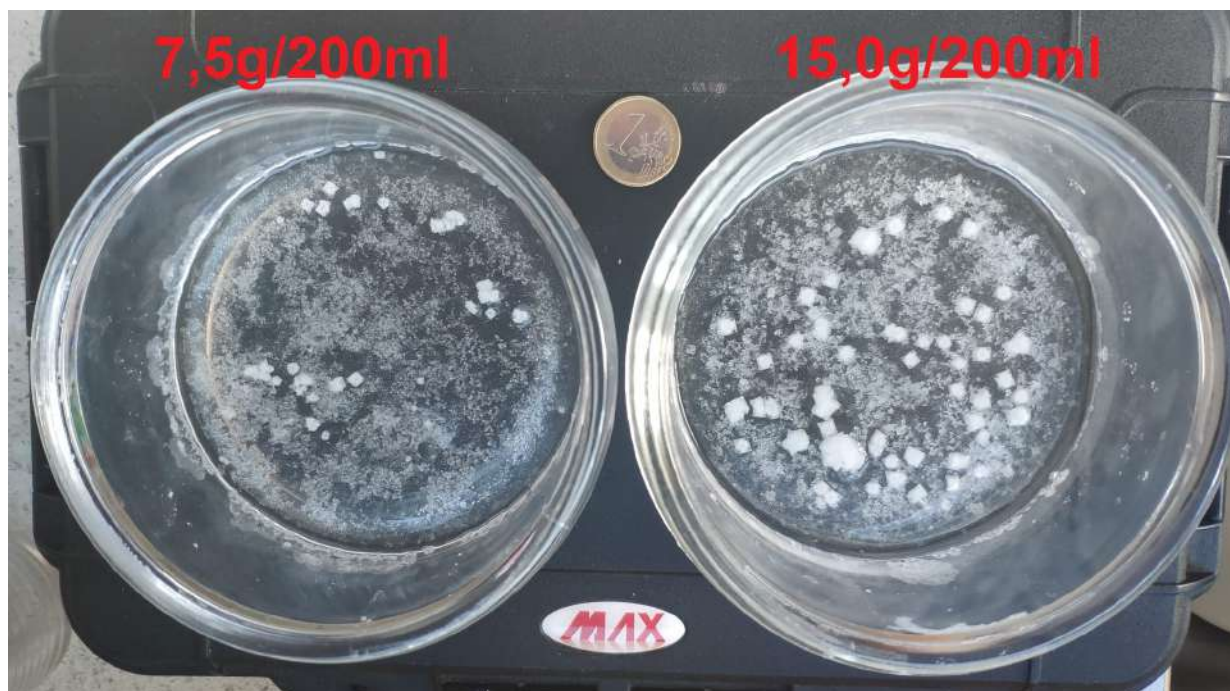


Fig. 34 Cristalls de clorur de sodi formats a partir de concentracions diferent i cristal·litzats a la mateixa velocitat

Font: autor del treball

En aquest cas, a les dues dissolucions he obtingut cristalls amb la forma de cub amb la que ha de cristal·litzar el clorur de sodi. La diferència ha sigut que els cristalls que s'han format a partir d'una concentració superior són més grans i n'hi ha més quantitat que a la dissolució amb una concentració inferior.

Pràctica 3

A la tercera pràctica he volgut tornar a comprovar la diferència entre els cristalls formats entre dissolucions de diferent concentració quan una de les dues està sobresaturada.

Procediment:

He escalfat mig litre d'aigua fins a 70°C aproximadament per afavorir la dissolució i he posat 100ml a un vas de precipitats de 200ml. Després he mesurat 15g de clorur de sodi a la balança i els he dissolt a l'aigua del vas de precipitats amb l'ajut d'una vareta de vidre. Finalment he posat la solució a una càpsula de Petri i l'he deixat reposar a temperatura ambient 22°C.

Per sobresaturar l'altra dissolució he repetit el mateix procés, però en comptes de mesurar 15g de clorur de sodi n'he mesurat 100g i l'he anat afegint poc a poc a la dissolució fins que ja no es dissolia més clorur de sodi. Un cop sobresaturada la solució, he fet la resta dels 100g menys els grams de clorur que quedaven a la balança, d'aquesta manera he determinat la quantitat de solut que he afegit a la dissolució, un total de 29,4g de clorur de sodi.

Resultats:



Fig. 35 Comparació entre els cristalls de dissolucions de diferent de concentració

Font: autor del treball

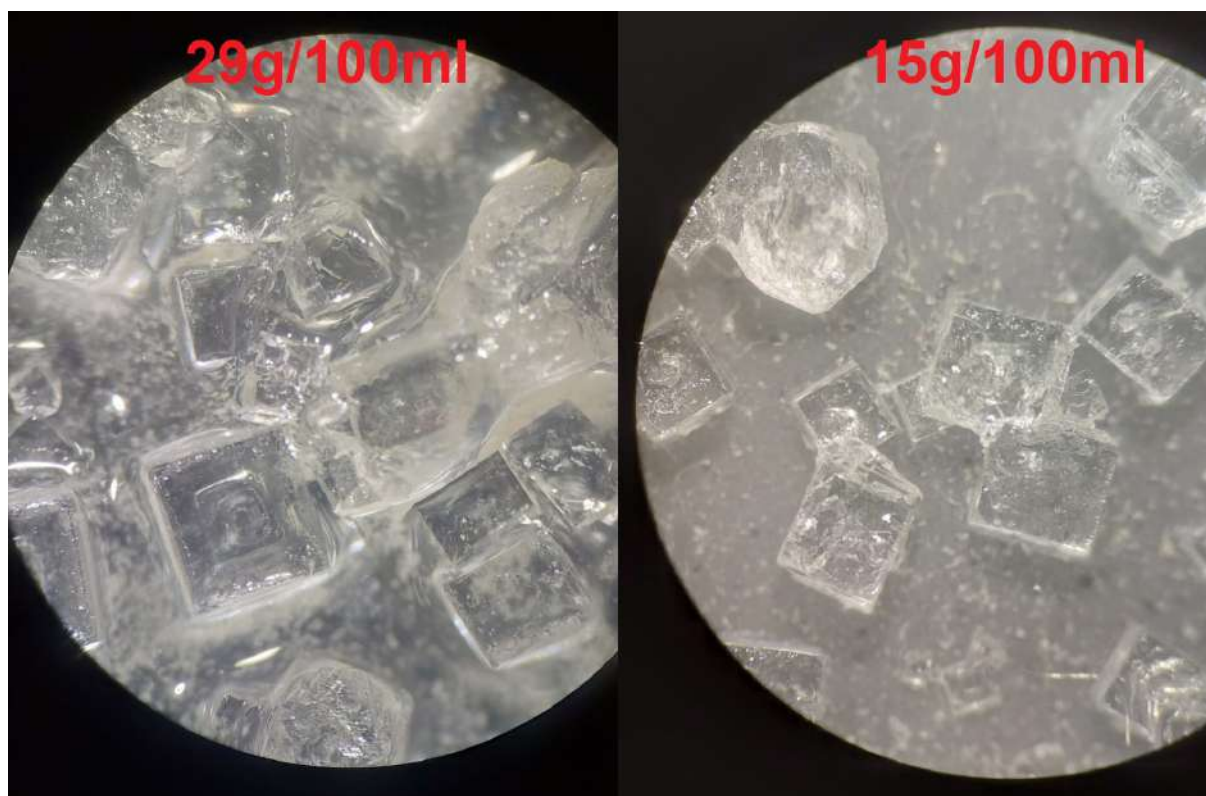


Fig. 36 Comparació de dos cristalls de dissolucions de diferent concentració vist a través de la lupa binocular

Font: autor del treball

A les imatges [Fig. 35 i 36] es pot apreciar com els cristalls formats tenen una mida similar, però els que s'han format a la dissolució sobresaturada tenen una forma més irregular i no la de cub com els de la dissolució amb una concentració més baixa.

Interpretació de resultats:

Els resultats obtinguts a les tres pràctiques són una mica contradictoris, ja que a la primera pràctica, al concentrar més la dissolució, es formen molts més cristalls però molt petits i mal formats. A la segona pràctica es formen més cristalls, més grans i tan ben formats com els de la solució menys concentrada. I a la tercera pràctica es formen més cristalls, amb una forma més irregular, però de la mateixa mida.

Això vol dir que augmentar la concentració de la dissolució sempre fa que augmenti la quantitat de cristalls que es formen. La mida d'aquests cristalls també depèn de la concentració, ja que en concentracions baixes, augmentar-la fa que els cristalls es

formin més grans, però si augmentem en excés la concentració fa que es formin cristalls més petits i irregulars ja que no tenen espai suficient perquè les molècules s'agrupin en la forma que volen, tot i que a nivell molecular les molècules estan organitzades en forma de cub.

Sintetitzant, al concentrar poc una dissolució de clorur de sodi es formen cristalls amb forma perfecta de cub i amb espai suficient perquè els cristalls creixin. Al concentrar força una dissolució sense arribar a la sobresaturació s'obtenen més cristalls, ben formats i més grans que si es concentra poc. Si es sobresatura la dissolució s'obtenen cristalls molt petits i mal formats degut a que no hi ha espai perquè els cristalls creixin en forma de cub.

4.3.2. Variable velocitat d'evaporació

La segona variable que he treballat amb el clorur de sodi ha estat la velocitat de refredament, estudiant la diferència entre els cristalls que s'obtenen a partir de la mateixa dissolució, però evaporant l'aigua més ràpidament en una que en l'altra.

Hipòtesi:

Si l'aigua s'evapora més ràpidament, les molècules de sal tenen menys temps per agrupar-se de forma ordenada i no podran formar grans cristalls, amb la qual cosa es formaran més cristalls que si s'evaporés més lentament, però aquests cristalls seran més petits i més irregulars.

Pràctica 1

A la primera pràctica he volgut comprovar la diferència entre els cristalls que es formen a partir d'una mateixa concentració, però evaporant una mostra molt ràpidament, una altra lentament, i una última deixant-la a la nevera, on pràcticament no s'evapora l'aigua.

Procediment:

Per fer la dissolució primer he escalfat 200ml d'aigua fins al punt d'ebullició, i després he afegit 31,4g de sal, amb la qual cosa, la concentració és de 15,7g/100ml (la concentració està feta a ull sense buscar cap concentració en concret. L'important en aquesta pràctica és que les tres mostres siguin de la mateixa concentració). Un cop dissolt el clorur de sodi he repartit la solució en tres cristallitzadors i un l'he deixat reposar a la cuina, un altre a la nevera i l'últim a l'aire lliure; d'aquesta manera la velocitat d'evaporació serà diferent en cada cas.

Resultat:



Fig. 37 Comparació de les 3 mostres on s'ha evaporat l'aigua a diferent velocitat

Font: autor del treball

Com es pot veure a la imatge [Fig. 37], en el cristal·litzador que he deixat a l'aire lliure (cristal·lització ràpida) s'han format molts cristalls petits i amb una forma irregular, i una mica de clorur de sodi ha precipitat sense cristal·litzar.

Al cristal·litzador que he deixat a la cuina s'han format força cristalls no gaire grans, però amb la forma de cub que han de tenir.

Finalment, al cristal·litzador que he deixat a dins de la nevera no s'han format cristalls; no ha precipitat el clorur de sodi.

Pràctica 2

A la segona pràctica he repetit el mateix experiment que a la pràctica anterior, però aquest cop el volum ha sigut la meitat i no he deixat cap mostra a la nevera.

Procediment:

Primer he escalfat 500ml d'aigua fins a 50°C aproximadament per afavorir la dissolució. Després he posat els 200ml a un vas de precipitats i hi he afegit 30g de clorur de sodi prèviament mesurats a la balança. Un cop feta la dissolució l'he repartit en dos plaques de Petri de tal manera que ha quedat una concentració de 15g/100ml a cada una. Finalment he deixat una de les mostres a l'aire lliure i l'altra a dins de casa a una temperatura ambient de 22°C.

Resultat:

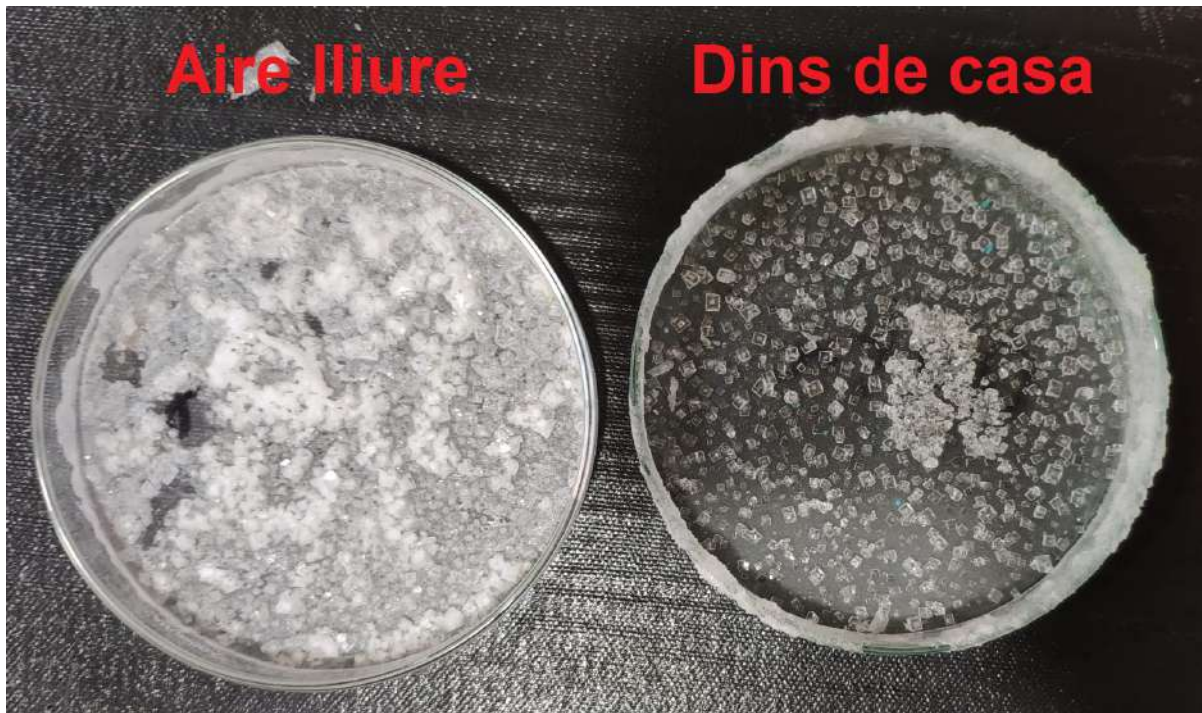


Fig. 38 Comparació de cristalls de la mateixa dissolució refredats a diferent velocitat

Font: autor del treball

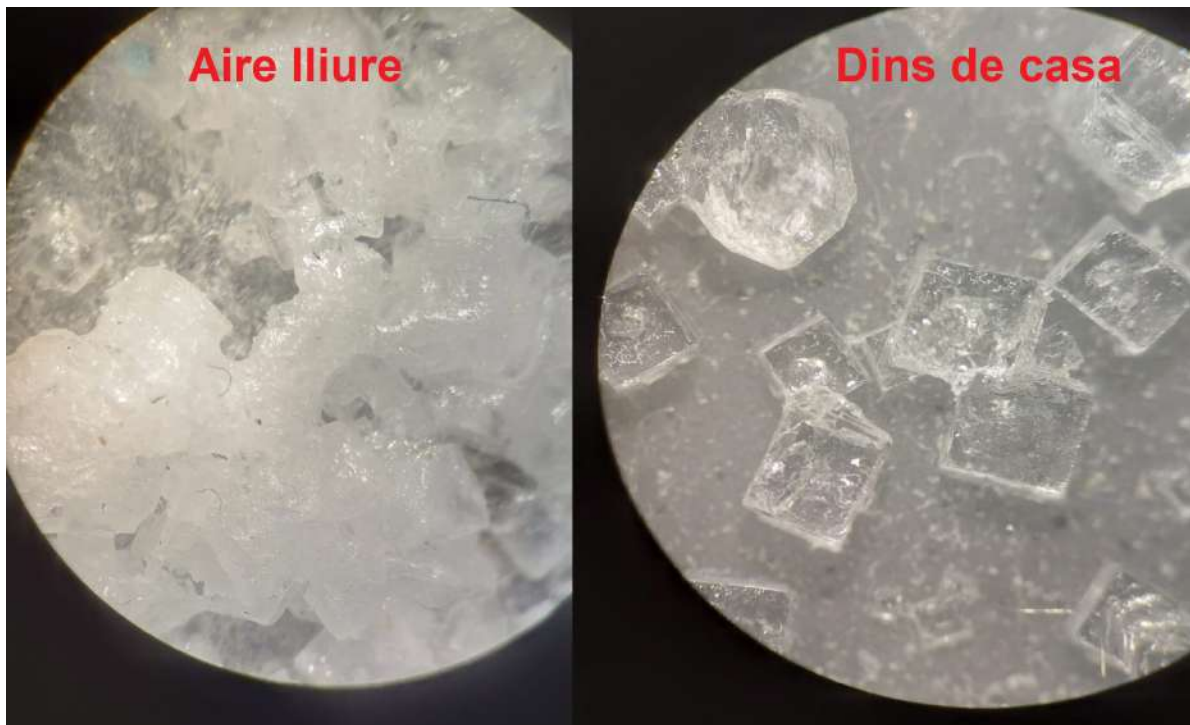


Fig. 39 Comparació de cristalls de la mateixa dissolució refredats a diferent velocitat vist a través d'una lupa binocular

Font: autor del treball

Tal i com es pot veure a la primera imatge [Fig.38], els cristalls que s'han format a la mostra que s'ha quedat a l'aire lliure són molt més petits i mal formats. Hi ha molta més quantitat de cristalls a la mostra amb una evaporació ràpida que la mostra amb una evaporació lenta, però els cristalls estan tan mal formats que si els mirem a través de la lupa binocular no es pot distingir cap forma geomètrica concreta; els cristalls tenen una forma molt irregular [Fig. 39].

Interpretació dels resultats

A les dues pràctiques he obtingut uns resultats similars: en els dos casos he obtingut una major quantitat de cristalls a l'augmentar la velocitat d'evaporació de l'aigua, i en els dos casos els cristalls que s'han format tenen una forma molt irregular i una mida més petita que els cristalls que s'han format a les mostres on l'aigua s'ha evaporat més lentament.

Això és degut al fet que, en augmentar la velocitat d'evaporació de l'aigua, les molècules de clor i de sodi precipiten molt més ràpidament perquè al quedar-se sense dissolvent, aquest no té capacitat per dissoldre tanta quantitat de solut i precipita. Degut a aquesta ràpida precipitació les molècules no tenen temps d'ordenar-se correctament i s'agrupen sense cap simetria ni ordre a nivell atòmic. Això es tradueix a nivell macroscòpic en substància de sal amorfa.

4.3.3. Variable tipus de clorur de sodi

També he volgut comprovar si existeix alguna diferència entre els cristalls que es formen a partir de dissolucions amb la mateixa concentració i amb l'aigua evaporada a la mateixa velocitat, però amb diferents tipus de sal.

Hipòtesi:

Els cristalls que es formaran a partir de clorurs de sodi amb diferent composició seran diferents, ja que hi ha altres substàncies a la dissolució.

Pràctica 1

Per a aquesta pràctica he utilitzat sal marina, que també conté fluor i iode, d'aquesta manera podré comprovar si el tipus de sal influeix a la cristal·lització.

Procediment:

He començat escalfant mig litre d'aigua fins a 50°C aproximadament, després he posat 100ml a un vas de precipitats de 200ml i hi he afegit 15g de clorur de sodi normal. A continuació he barrejat amb una vareta de vidre la solució, i un cop dissolt tot el solut, he posat la dissolució a una placa de Petri i la he deixat a temperatura ambient (22°C). He repetit el mateix procediment amb un altre tipus de clorur de sodi, aquest conté 6mg de iode per cada 100g de clorur de sodi, i 12,5mg de Fluor per cada 100 mg de clorur de sodi.

Resultat:

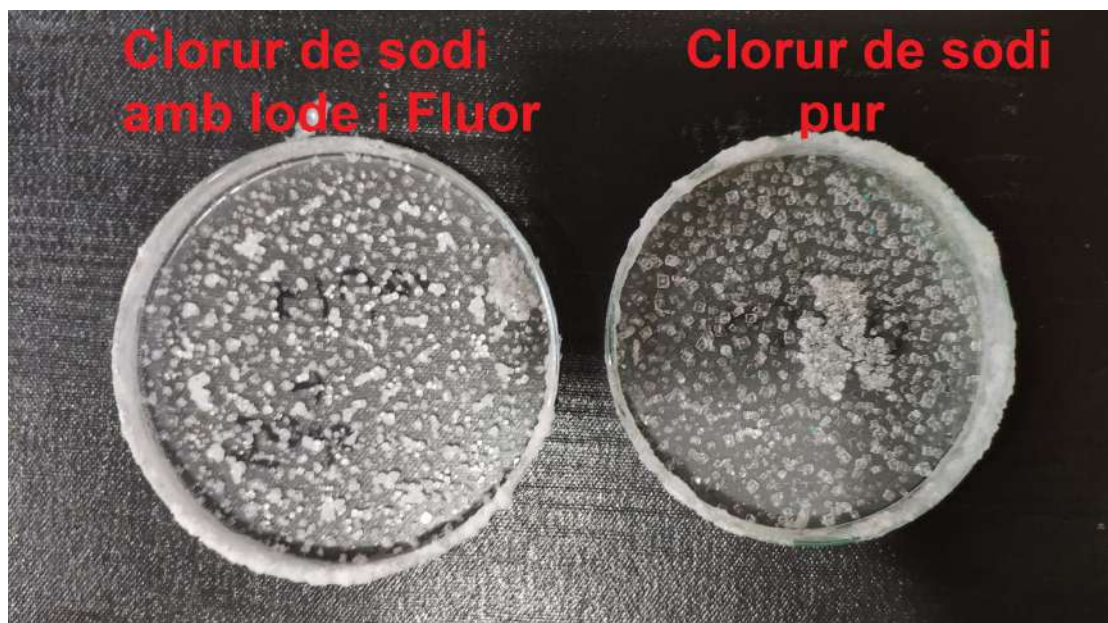


Fig. 40 Comparació de cristalls formats en les mateixes condicions però amb diferent clorur de sodi

Font: autor del treball

Al comparar les dues mostres es pot veure que hi ha la mateixa quantitat de cristalls, aquests estan ben formats i tenen la mateixa mida en els dos casos. No hi ha diferències entre els cristalls formats a partir de diferents tipus de clorur de sodi.

Interpretació de resultats

He obtingut els mateixos cristalls a les dues mostres on la única diferència era el tipus de clorur de sodi que hi havia. Per tant, puc deduir que el tipus de clorur de sodi no és un factor que condiciona el tipus de cristalls que es formen.

4.4. CRISTAL·LITZACIÓ DEL SULFAT DE COURE

4.4.1. Variable concentració de la dissolució

Per estudiar les diferències entre els cristalls de sulfat de coure pentahidratat fets a partir de diferents concentracions he utilitzat el mateix mètode que amb el clorur de sodi.

Hipòtesi:

Els cristalls que s'obtidran a l'augmentar la concentració seran més grans ja que hi ha més quantitat de sulfat de coure per formar cristalls.

Pràctica 1

En aquest cas he preparat tres dissolucions de concentracions diferents tenint en compte la solubilitat del sulfat de coure en aigua destil·lada per no sobresaturar les dissolucions.

Procediment:

Primer he mesurat 100ml d'aigua destil·lada en un vas de precipitats i ho he escalfat fins al punt d'ebullició en una olla. Un cop arribat al punt d'ebullició he posat l'aigua un altre cop al vas de precipitats, per no embrutar l'olla amb el sulfat de coure, hi he afegit 16g de sulfat de coure i he barrejat. Un cop feta la dissolució l'he posat en un cristal·litzador on he marcat amb un permanent la concentració per no confondre els resultats. A continuació he repetit aquest mateix procés canviant la quantitat de sulfat de coure que s'hi ha d'afegir (24 i 32 grams). Després de fer les dissolucions les he deixat totes juntes en un lloc fresc de la casa, així l'aigua trigarà més a evaporar-se i per tant les molècules tindran més temps per organitzar-se i formar cristalls més grans i millors.

Resultat:

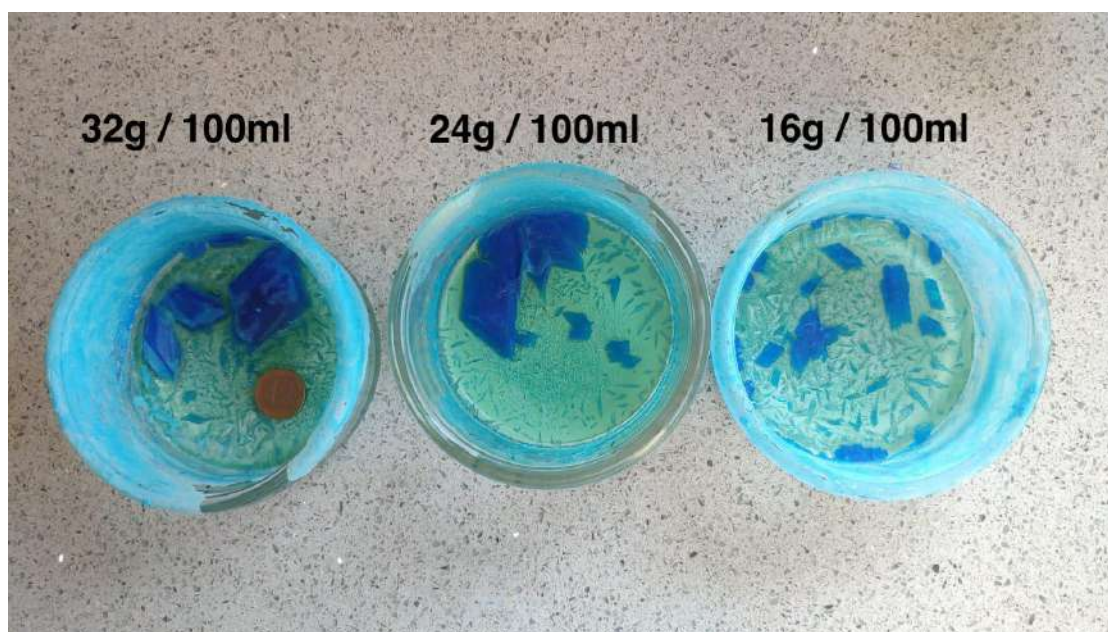


Fig. 41 Mostres de cristalls de sulfat de coure formats a partir de diferents concentracions

Font: autor del treball

La dissolució més concentrada va ser la primera que va començar a cristal·litzar 10 dies més tard de fer la dissolució. Les altres dues van trigar uns 15 dies en començar a cristal·litzar. Finalment, 24 dies més tard es va evaporar totalment l'aigua dels tres cristal·litzadors deixant només els cristalls de sulfat de coure.

Pràctica 2

En aquesta segona pràctica he preparat dues dissolucions: una amb una concentració normal i una altra sobresaturada. Les dues concentracions les he fet amb aigua de l'aixeta a una temperatura de 30°C, d'aquesta manera no es gasta tanta substància per aconseguir sobresaturar la dissolució.

Procediment:

Per a la primera dissolució he optat per una concentració mitjana (ni massa ni poc concentrada) de 32g/100ml. Per obtenir-la he pesat alguns dels cristalls de la pràctica anterior i els he afegit a la nova dissolució.

Per fer l'altra dissolució he repetit el mateix procediment que en la primera, però després he anat afegint sulfat de coure fins que l'aigua ja no era capaç de dissoldre més solut (amb una concentració final de 43,2g/100ml).

Resultat:

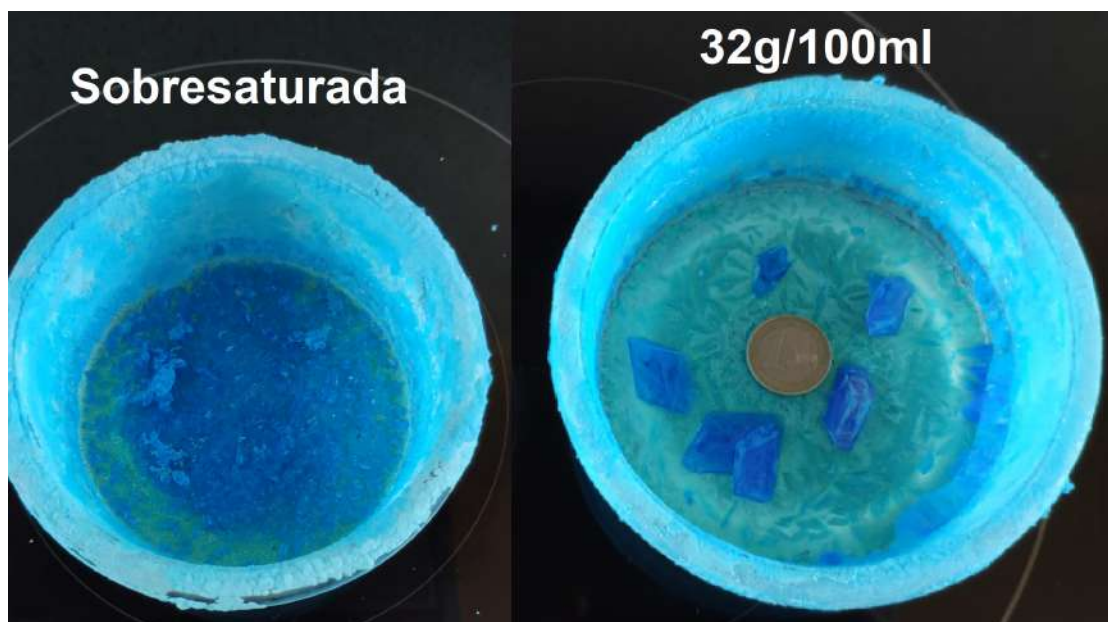


Fig. 42 Comparació de concentració saturada amb concentració subsaturada

Font: autor del treball

Del cristal·litzador amb la dissolució subsaturada he obtingut pocs cristalls força grans amb una forma pràcticament perfecta de prisma oblic amb base rectangular. A l'altre cristal·litzador he obtingut moltíssims cristalls molt petits que a simple vista sembla pols [Fig. 42].

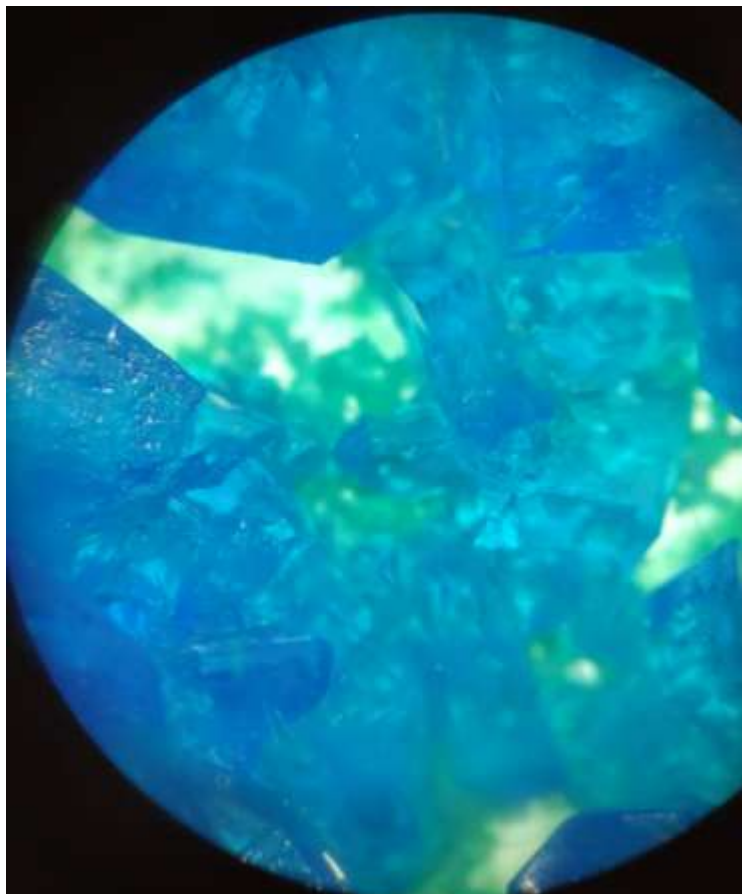


Fig. 43 Foto a través d'una lupa binocular de la dissolució concentrada

Font: autor del treball

Si mirem el cristal·litzador que conté la dissolució més concentrada a través de la lupa binocular podem observar que els cristalls que a simple vista semblen pols han cristal·litzat amb una forma irregular, és a dir, cada cristall té una forma diferent que no té res a veure amb el prisma oblic amb base rectangular forma que, segons el sistema triclínic, és amb la que hauria de cristal·litzar.

Interpretació de resultats:

A la primera pràctica he pogut comprovar la diferència entre els cristalls que creixen quan la dissolució no està sobresaturada. S'obtenen uns cristalls amb una forma pràcticament perfecta de prisma oblic amb base rectangular. La diferència entre aquestes concentracions és la mida dels cristalls, ja que com més concentrada estigui la dissolució, més quantitat de solut precipitarà i cristal·litzarà.

Arriba un punt en què l'afirmació que quan més gran és la concentració, més grans són els cristalls, ja no es compleix, ja que si sobresaturem la dissolució les molècules de sulfat de coure precipiten molt ràpidament i no tenen espai ni temps per ordenar-se de la manera que els correspondria segons el sistema triclínic i cristal·litzen formant molts cristalls i petits, o simplement no cristal·litzen, precipitant com a matèria amorfa.

4.4.2 Variable velocitat d'evaporació de l'aigua

Per estudiar aquesta variable he aplicat la mateixa metodologia que amb el clorur de sodi, deixant un cristal·litzador a l'aire lliure durant l'estiu i un altre a dins de casa on la temperatura és més suau i l'aigua s'evapora més lentament. D'aquesta manera podrem veure diferències notables entre les dues dissolucions i així comprovar si passa el mateix que passa amb el clorur de sodi.

Hipòtesi:

Si l'aigua s'evapora més ràpid els cristalls que es formaran seran més irregulars degut que, al precipitar més ràpid, les molècules no tenen prou temps com per ordenar-se correctament formant cristalls amb forma de prisma oblic.

Pràctica 1

Per estudiar la variable de velocitat d'evaporació de l'aigua amb el sulfat de coure, ho he fet de la mateixa manera que amb el clorur de sodi. He preparat una dissolució de sulfat de coure i he deixat una mostra a l'aire lliure a l'estiu, i una a dins de casa. D'aquesta manera l'aigua s'evaporarà a diferent velocitat.

Procediment:

Per començar he preparat una dissolució de mig litre de sulfat de coure de 32g/100ml, és a dir, 160g de sulfat de coure en 500ml d'aigua. Per obtenir els 160g de sulfat de coure he reutilitzat els cristalls obtinguts en la pràctica anterior (variable concentració) i hi he afegit més sulfat de coure fins arribar als 160g. Per això he triturat els cristalls fets a la pràctica anterior, ja que així es dissol més ràpidament. Un cop feta la dissolució l'he repartit en dos cristal·litzadors: un l'he deixat a l'aire lliure (durant l'estiu) i l'altre l'he deixat a un lloc fresc de la casa, on no faci gaire calor ja que així l'aigua tarda més en evaporar-se.

Resultat:

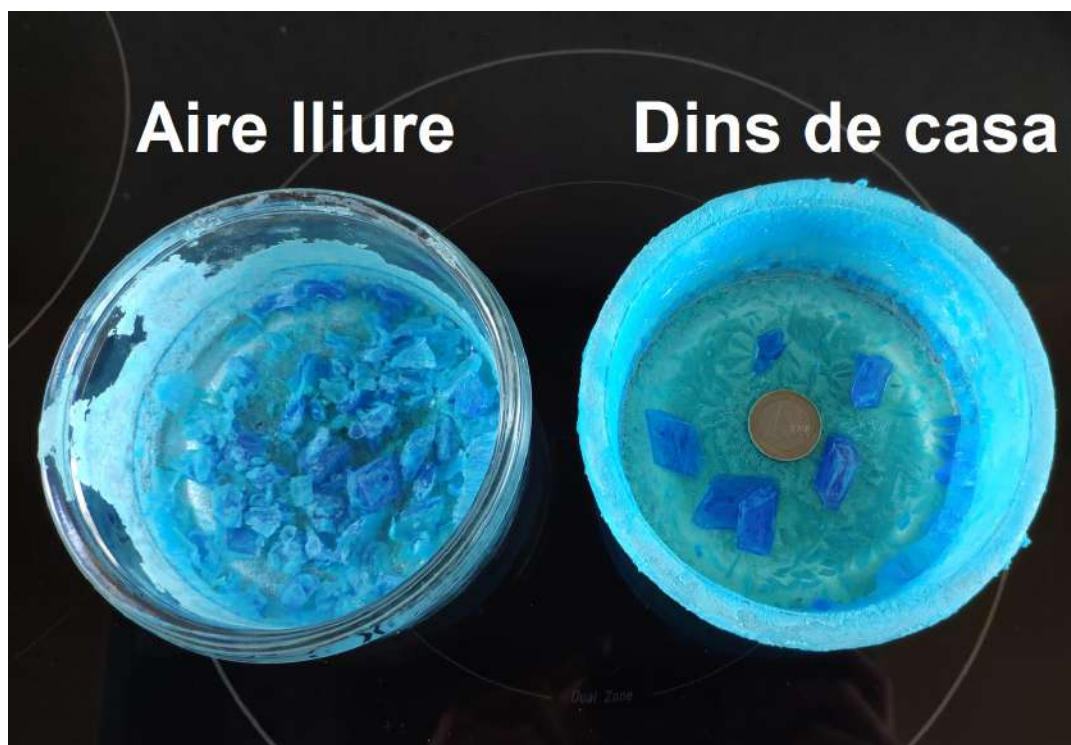


Fig. 44 Comparació entre els cristalls de CuSO_4 formats a diferent velocitat

Font: autor del treball

L'aigua del cristal·litzador que estava a l'aire lliure va trigar dos dies en evaporar-se completament. En aquesta dissolució s'han format molts cristalls, petits i mal formats, ja que no tenen la forma de prisma oblic amb base rectangular.

D'altra banda, a la dissolució que es va quedar a un lloc fresc dins de casa s'han format menys cristalls, però més grans i amb una forma pràcticament perfecta.

Conclusió:

Quan la velocitat d'evaporació de l'aigua és més lenta les molècules de sulfat de coure precipiten més lentament, per tant tenen més temps per ordenar-se en la forma cristal·lina que els correspon. En canvi, quan precipiten molt ràpidament degut a una ràpida velocitat d'evaporació de l'aigua, es formen més cristalls, més petits i més irregulars ja que les partícules no tenen prou temps per ordenar-se correctament.

4.4.3 Cristal·lització a partir d'una llavor

En aquest cas vull comprovar què passa quan poso un petit cristall de sulfat de coure en una dissolució i deixo que cristal·litzi.

Hipòtesi:

La llavor creixerà proporcionalment per tots els costats ja que aquesta és un punt de nucleació el qual les molècules utilitzaran com a patró.

Pràctica 1

Per a aquesta pràctica, he lligat un fil a un cristall petit de sulfat de coure i l'he posat al centre de la dissolució per analitzar com evoluciona el cristall.

Procediment:

Per a la primera pràctica de cristal·lització a partir d'una llavor he volgut utilitzar la concentració que millor ha cristal·litzat en les pràctiques que he fet anteriorment: 32g/100ml, i he preparat una dissolució d'aquesta concentració, però més saturada: de 160g/500ml.

Un cop feta la dissolució he agafat un cristall petit amb una forma perfecta d'una de les anteriors pràctiques, l'he lligat amb un fil i l'he deixat penjant a un vas de precipitats, on posteriorment, he afegit la dissolució feta anteriorment.

Resultat:

Passades unes hores d'haver fet la dissolució he mirat si tot estava bé, i he vist que no hi havia llavor. Primer he pensat que havia caigut, però després he vist que realment el que ha passat ha sigut que s'ha dissolt, ja que a la temperatura a la que està la dissolució, l'aigua encara té capacitat de dissoldre més sulfat de coure.

Pràctica 2

Aquest cop he repetit el procediment de la pràctica anterior però sobresaturant la solució per evitar que la llavor es dissolgui.

Procediment:

Tenint en compte el resultat de la pràctica anterior, he vist que si vull cristal·litzar sulfat de coure a partir d'una llavor, he de sobresaturar la dissolució prèviament.

Per aquesta segona pràctica he agafat la dissolució de la pràctica anterior, i hi he anat afegint sulfat de coure fins que l'aigua ja no ha sigut capaç de dissoldre més solut; és a dir, he sobresaturat al màxim la dissolució. Un cop arribada a aquesta concentració he posat una llavor de la mateixa manera que la vaig posar a la pràctica anterior.

Resultat:

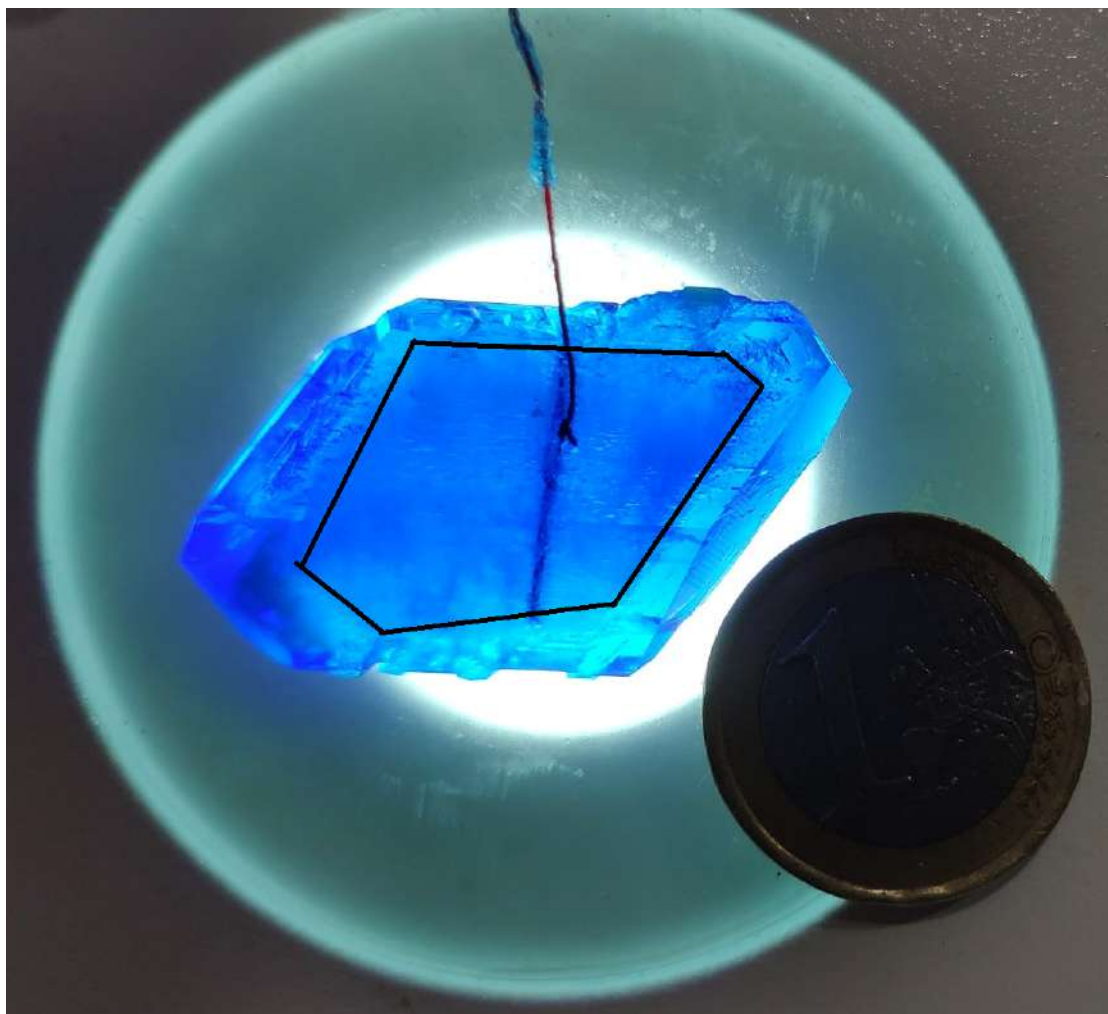


Fig. 45 Cristall de sulfat de coure obtingut a partir d'una llavor (figura ressaltada)

Font: autor del treball

El cristall obtingut a partir d'una llavor ha crescut seguint la forma que tenia l'antic cristall, de tal manera que ha crescut proporcionalment cap a totes les direccions.

Interpretació dels resultats:

Al posar una llavor a dins d'una dissolució s'hi està afegint un punt de nucleació a partir del qual les molècules començaran a cristal·litzar. Al tenir temps i espai per organitzar-se, es col·locaran seguint el patró de la llavor fent-la créixer proporcionalment en totes les direccions.

4.5 CRISTAL·LITZACIÓ DE L'ADP

4.5.1 Variable concentració de la dissolució

Per estudiar la variable de la concentració ho he fet de la mateixa manera que amb el sulfat de coure i el clorur de sodi, és a dir, fent dissolucions amb diferent concentració i deixant-les al mateix lloc durant els mateixos dies per així veure les diferències en les mateixes condicions.

Hipòtesi:

A l'augmentar la concentració, els cristalls que s'han de formar seran més grans degut que hi ha una major quantitat d'ADP que precipitarà i cristalitzarà.

Pràctica 1

Per començar a estudiar aquesta variable he començat comparant una dissolució mig concentrada amb una un 25% més concentrada

Procediment:

Per fer aquesta pràctica he partit d'una concentració base que és la que venia en el kit que he utilitzat per fer les pràctiques amb concentracions petites d'ADP (aquest kit conté 300g d'ADP i un pot de plàstic a dins d'un altre pot de porexpan perquè la temperatura de l'aigua baixi molt lentament) i he fet una altra dissolució augmentant la concentració.

La dissolució que ve amb el kit és de 300g/500ml d'aigua, i és la que he utilitzat com a base, ja que he fet una altra dissolució amb una concentració superior, de 375g/500ml.

Resultat:



Fig. 46 Cristalls obtinguts a partir de dues dissolucions de diferent concentració

Font: autor del treball

El cristall de l'esquerra (menys concentrat) ha sortit molt més petit i amb cristalls més prims que el que tenia una concentració superior [Fig. 46]. D'altra banda, els cristalls de la dissolució més concentrada tenen una forma més irregular, i no estan tan ben formats com ho estan els de la dissolució menys concentrada.

Pràctica 2

En aquesta segona pràctica he decidit fer unes dissolucions força diferents, on la diferència de concentració sigui notable. Així que he fet una dissolució una mica més concentrada que la estàndard, i una altre pràcticament sobresaturada.

Procediment:

Per fer aquesta pràctica he reutilitzat els cristalls que vaig utilitzar a la pràctica de variable de velocitat de refredament. Per tant, primer he hagut de dissoldre el cristall amb el seu líquid sobrant (d'aquesta manera sé la concentració) i a continuació he hagut d'afegir la quantitat de solut i de dissolvent necessari per arribar a la concentració desitjada. Aquest procediment l'he fet dos cops, fins a obtenir una solució de 640g/1L i

una altre de 750g/1L. Un cop fetes les dues dissolucions, les he posat en dos recipients idèntics i les he deixat reposar dins la mateixa caixa de porexpan, així la velocitat de refredament serà exactament igual i no influirà cap altre variable apart de la concentració.

Resultat:

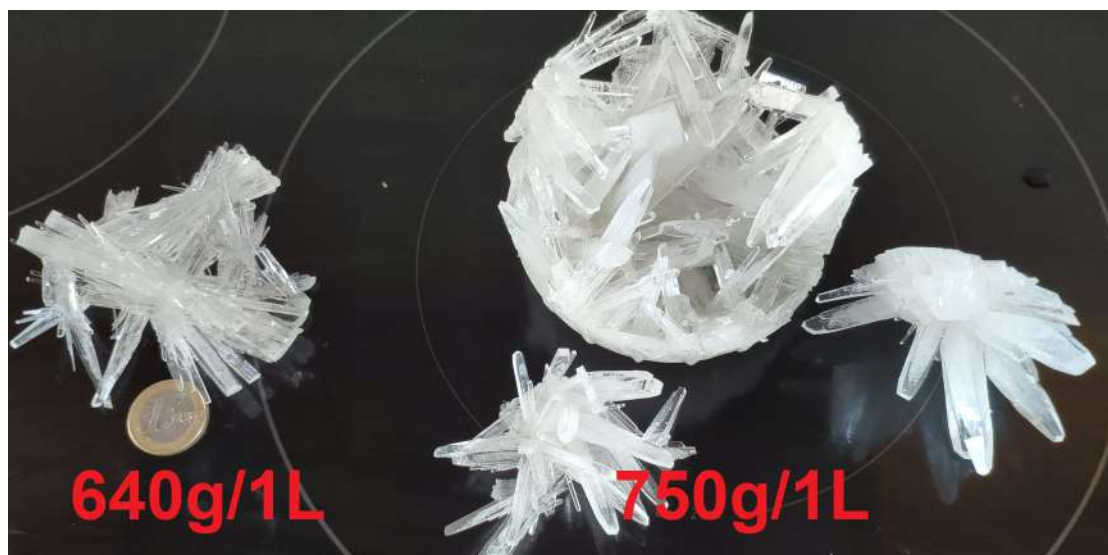


Fig. 47 Diferència entre dos cristalls formats en les mateixes condicions però amb diferent concentració

Font: autor del treball

Com es pot apreciar a la imatge [Fig. 47], el cristall que s'ha format a partir d'una concentració força inferior és molt més petit que el que prové d'una dissolució més concentrada. D'altra banda, els cristalls provinents de la dissolució més concentrada tenen una forma més irregular i no tenen la forma de prisma que hauria de tenir.

Interpretació dels resultats

A l'augmentar la concentració d'una dissolució d'ADP, els cristalls que es formen tenen una mida superior i se'n formen més, però amb una forma irregular. Això és degut al fet que en augmentar la concentració hi ha moltes més molècules que precipiten, per tant, menys espai per agrupar-se, el que provoca que les molècules no s'ordenin formant una estructura de prisma rectangular i es formin aquests cristalls més irregulars en els quals costa distingir una forma concreta.

4.5.2. Variable velocitat de refredament de la dissolució

Per estudiar aquesta variable no ho faré de la mateixa manera que amb el clorur de sodi i el sulfat de coure, ja que l'ADP cristal·litza amb una tècnica diferent i no em caldrà deixar a l'aire lliure una dissolució.

Per tal que només influeixi la velocitat de refredament, he de fer una dissolució i repartir-la en els dos recipients de tal manera que els dos tinguin la mateixa quantitat de dissolució i la mateixa concentració. Després he de deixar un recipient a temperatura ambient i l'altre dintre d'una caixa de porexpan; així en el segon la temperatura baixarà més lentament.

Hipòtesi:

A l'augmentar la velocitat de refredament, l'ADP precipitarà molt més ràpid sense deixar temps a que les molècules s'organitzin, i formaran figures irregulars sense forma de prisma rectangular acabat en una piràmide tetragonal.

Pràctica 1

Per a la primera pràctica d'aquesta variable amb l'ADP he utilitzat una concentració estàndard (300g d'ADP per 500 ml d'aigua) ja que no vull saturar gaire la dissolució, per obtenir així uns cristalls mitjanament grans i ben formats.

Procediment:

Primer he preparat una dissolució gran amb una concentració de 320g de ADP en 500ml d'aigua. He utilitzat aquesta concentració ja que he hagut de reutilitzar material d'activitats anteriors i la concentració no era l'estàndard exacta, tot i que realment, en aquesta pràctica, no cal tenir una concentració exacta, ja que el que realment importa és que els dos recipients tinguin la mateixa concentració.

Amb aquesta concentració he fet una dissolució de 2L, per tant, hi ha 1280g d'ADP aproximadament.

Un cop feta la dissolució, l'he repartit en cada recipient, de tal manera que m'ha quedat un litre de dissolució a cada recipient amb una concentració de 640g/1L a cada recipient.

Finalment, he deixat un recipient a temperatura ambient de la casa i l'altre dins d'una caixa de porexpan tancada hermèticament perquè la temperatura baixi més lentament i les molècules tinguin més temps d'organitzar-se.

Resultat:

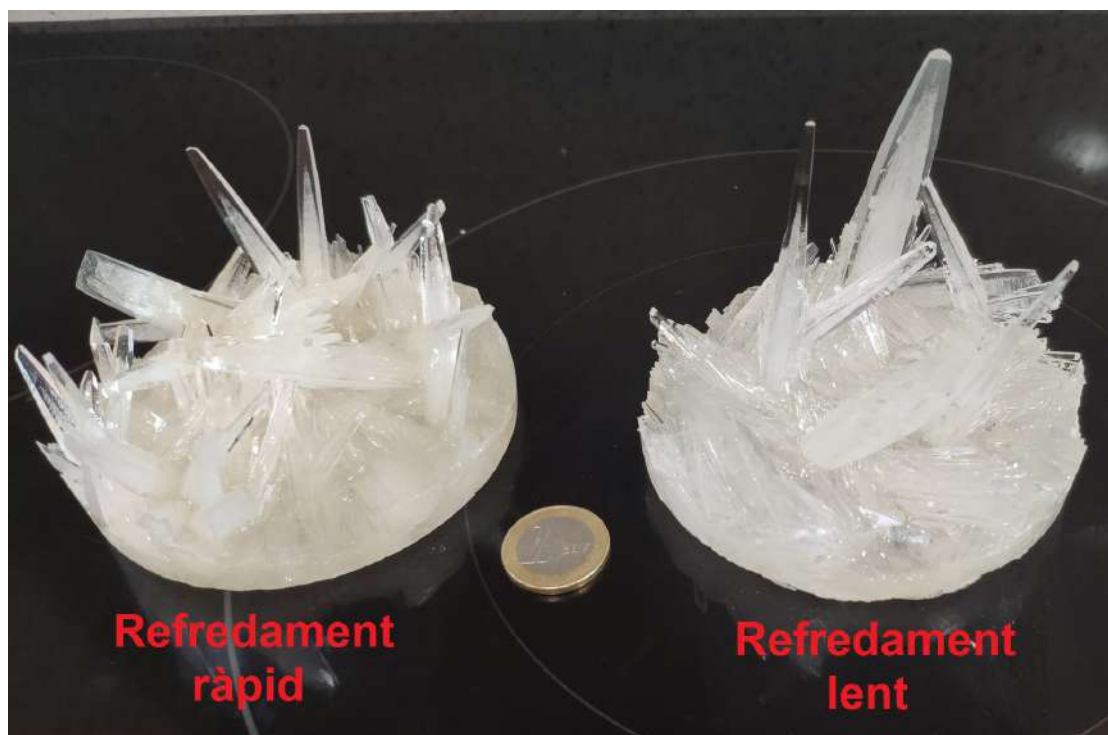


Fig. 48 Cristalls provinents de la mateixa dissolució refredats a diferent velocitat

Font: autor del treball

A la imatge es pot comprovar que el cristall que ha tingut un refredament més lent té uns cristalls més grans i més ben formats [Fig. 48]; a l'altre cristall es poden apreciar més cristalls, però més petits i sense una forma massa clara de prisma acabat en punta.

Pràctica 2

En aquesta segona pràctica he decidit augmentar una mica la concentració de les dues dissolucions, i també he intentat que hi hagi més diferència en la velocitat de refredament deixant una de les mostres a dins de tres caixes de porexpan i cobrint l'espai de dins de la caixa amb paper de diari per obtenir el màxim de aïllament tèrmic possible.

Procediment:

Per a aquesta pràctica he preparat una dissolució d'ADP de 1300g en 2 litres d'aigua, és a dir, una concentració de 325g/500ml. La dissolució l'he fet a partir de cristalls de pràctiques anteriors. Per tant, per fer els nous cristalls simplement havia de pesar els cristalls i afegir l'ADP necessari per arribar a la quantitat desitjada.

Un cop feta la dissolució, l'he repartit en dos recipients iguals de manera que quedi un litre de solució a cada un dels recipients.

Finalment, he posat un dels dos recipients a l'interior d'una caixa de porexpan, i aquesta caixa a dins de dues caixes de porexpan més. L'altre recipient l'he deixat a temperatura ambient de la casa (21°C). D'aquesta manera la diferència de velocitat de refredament serà molt exagerada i podré obtenir uns resultats més clars.

Resultat:

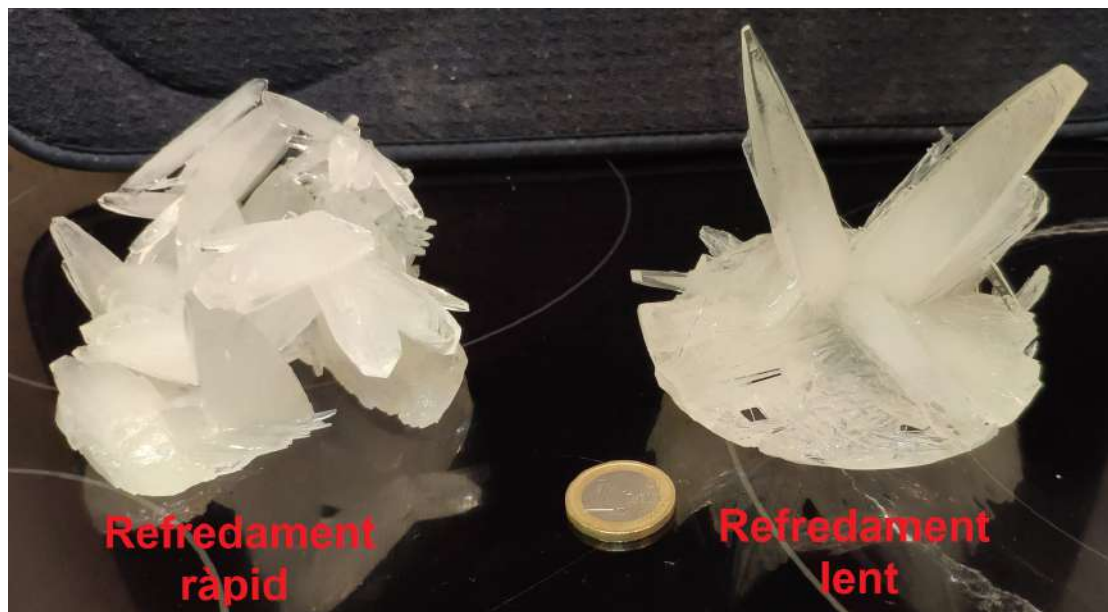


Fig. 49 Comparació dels dos cristalls obtinguts a partir de la mateixa solució però refredats a diferent velocitat

Font: autor del treball

Els dos cristalls obtinguts en aquesta pràctica són completament diferents. El cristall que s'ha format amb una velocitat de refredament superior té una forma molt irregular i no es pot distingir cap tipus d'hàbit cristal·lí. D'altra banda, el cristall que s'ha format amb un refredament molt lent té menys cristalls que l'altre, però aquests són molt més grans i tenen una forma perfecta en la que es pot apreciar molt bé el seu hàbit prismàtic acabat en piràmide tetragonal.

Interpretació dels resultats

Quan una dissolució d'ADP es refreda molt a poc a poc, les molècules van precipitant lentament i tenen temps d'organitzar-se perfectament formant cristalls en forma de prisma rectangular acabat en piràmide tetragonal. A l'accelerar aquest procés refredant la dissolució ràpidament el que fem és provocar que les molècules precipitin molt ràpidament; per tant, tenen molt menys temps per organitzar-se i s'agrupen com poden

formant cristalls amb una forma molt irregular que no té res a veure amb la forma que haurien de tenir segons el seu hàbit cristal·lí.

4.5.3. Cristal·lització a partir de llavors

En aquest cas vull estudiar què passa quan deixem un cristall ben format d'ADP (llavor) penjat al mig del recipient on he posat una nova dissolució d'ADP.

Hipòtesi:

Al posar un cristall com a llavor, aquest farà de punt de nucleació i les molècules d'ADP que precipitin aniran cristal·litzant al seu voltant fent-lo créixer proporcionalment per tots els costats. També és possible que creixin cristalls cap a altres direccions a partir d'aquesta llavor.

Pràctica 1

Per a la primera pràctica de cristal·lització d'ADP a partir d'una llavor he utilitzat un petit cristall ben format d'una cristal·lització anterior.

Procediment:

Aquesta pràctica l'he fet reutilitzant ADP d'una pràctica anterior i afegint-ne una mica de nou fins arribar a una concentració de 975g d'ADP en 1500ml d'aigua aproximadament.

Un cop dissolt l'antic cristall i afegida la quantitat d'ADP necessària he hagut d'esperar a que la dissolució baixés de temperatura, ja que a 100 °C (temperatura a la que he fet la dissolució) l'aigua encara té capacitat per dissoldre més ADP, i si posés la llavor es dissoldria. Mentre baixava la temperatura he hagut d'estar remenant la dissolució, ja que si no el solut aniria precipitant sense cristal·litzar i no obtindríem un bon resultat.

Un cop arribat a una temperatura inferior a 60° he posat la llavor a dins, penjada per un petit fil i enganxada a la tapa del recipient on està la dissolució.

Finalment he posat el recipient en una capsa de porexpan perquè la temperatura baixi lentament i pugui sortir una bona cristal·lització.

Resultat:



Fig. 50 Cristall sencer

Font: autor del treball

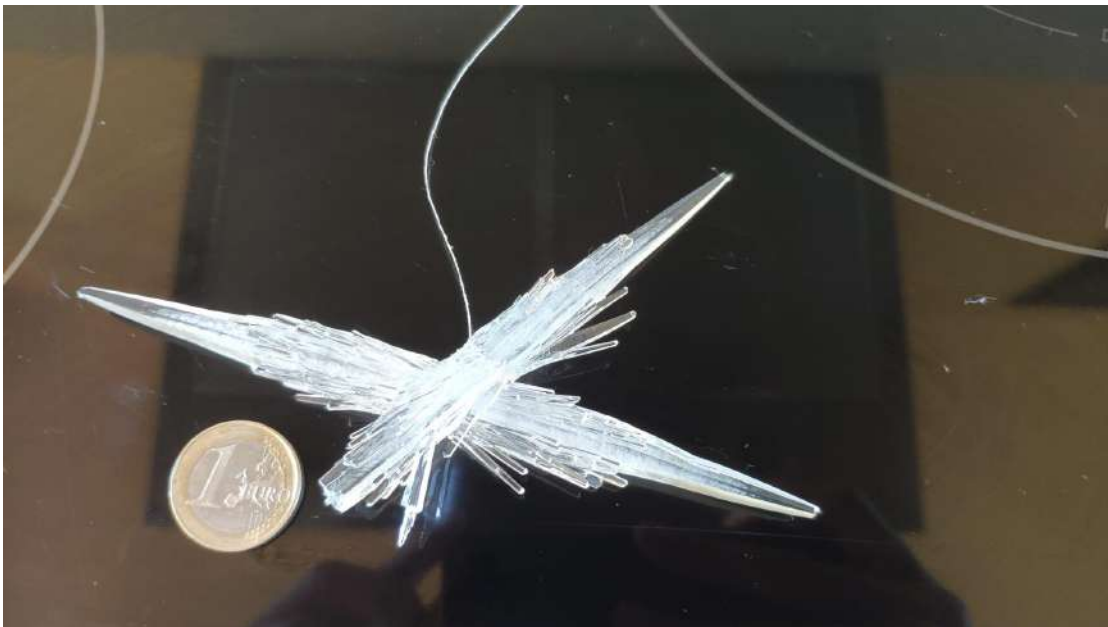


Fig. 51 Petit cristall que ha sortit de la llavor

Font: autor del treball

Al fons del recipient ha sortit un cristall amb les puntes transparents degut a la recristal·lització, ja que cada vegada hi ha menys impureses a l'ADP [Fig. 50].

La llavor ha continuat cristal·litzant, i ha sortit un cristall en forma de creu que s'havia quedat enganxat per una de les puntes al cristall que hi havia al fons del recipient [Fig. 51].

Pràctica 2

En aquesta segona pràctica de cristal·lització a partir d'una llavor he decidit posar un cristall sencer format en una pràctica anterior en un recipient més gran amb ADP, per veure com cristal·litza a partir d'aquest cristall.

Procediment:

Per començar he preparat una dissolució gran una mica més concentrada que la concentració estàndard, així que he preparat una dissolució de 1320g en 2000ml d'aigua. Un cop dissolt tot el solut, a uns 95°C per accelerar el procés, he deixat refredar la dissolució una bona estona fins arribar als 65°C aproximadament, ja que si hagués posat el cristall que fa de llavor quan la temperatura és alta, s'hauria dissolt i no hauria cristal·litzat res a partir del cristall. Un cop ha baixat suficient la temperatura, he posat la dissolució en un recipient gran, tenint cura d'abocar-la lentament per no moure el cristall que he posat centrat al fons del recipient. Aquesta llavor tenia un pes de 190g.

Finalment, he posat el recipient en una caixa de porexpan perquè la temperatura baixi lentament durant tota una setmana.

Resultat:



Fig. 52 Cristall format a partir d'una llavor gran de 190g

Font: autor del treball

Degut que aquest cristall ha estat format a partir d'un altre cristall més petit, els cristalls que s'han format són les prolongacions dels que tenia el cristall petit. Aquests són grans i acaben en molts de petits, i n'hi ha cap a totes les direccions.

Pràctica 3

A les anteriors pràctiques de cristal·lització a partir de llavors amb ADP he utilitzat una punta d'un cristall, i un cristall sencer. En aquest cas he volgut comprovar que passa si poso un petit cristall amb unes poques puntes.

Procediment:

Per realitzar aquesta pràctica he escalfat 2 litres d'aigua a 100°C en una olla i hi he afegit 1300g d'ADP. Un cop dissolt tot el solut hi he afegit 5 cullerades petites de dicromat de potassi, una impuresa que fa que els cristalls d'ADP es tornin grocs o verds depenent de la concentració de dicromat de potassi que s'hi afegeixi.

Un cop feta la solució, l'he deixat refredar, remenant-la perquè l'ADP no comenci a precipitar i cristal·litzar, fins als 60°C. Quan la dissolució ha assolit els 60°C hi he afegit la llavor amb un cordill i l'he deixat penjant de tal manera que el petit cristall es quedi centrat dins del recipient [Fig. 53].



Fig. 53 Llavor que he posat dins la dissolució

Font: autor del treball

Resultat:



Fig. 54 Cristall obtingut a partir d'un petit cristall

Font: autor del treball

He obtingut un cristall força gran comparat amb la llavor que hi havia posat [Fig. 54]. Aquest cristall està format per cristalls molt petits i fràgils i es pot veure una mica la direcció que tenien els petits cristalls que hi havia a la llavor i a partir dels quals s'ha format aquest cristall nou.

Interpretació dels resultats

El cristall que es posa com a llavor es fa més gran, però a partir d'aquest creixen moltes altres cristalls cap a altres direccions dificultant el poder determinar quin era el cristall que feia de llavor.

5. CONCLUSIONS

Comparant tots els anàlisis de resultats, he tret aquestes conclusions del treball:

- La concentració de la dissolució és una variable que intervé en la quantitat, la mida i la forma dels cristalls.
- Per obtenir cristalls ben formats, pel que fa a la concentració, s'ha de preparar una dissolució força concentrada però sempre deixant un petit marge per sota la corba de solubilitat. No s'ha de sobresaturar la solució.
- Al sobresaturar la solució s'obtenen molts cristalls molt petits i amb una forma irregular però amb les molècules ben ordenades, a més de substància no cristal·litzada.
- Al saturar poc una dissolució, els cristalls que s'obtenen estan ben formats, però són més petits i n'hi ha menys quantitat comparat amb una concentració més saturada.
- La velocitat d'evaporació de l'aigua i la velocitat de refredament de la dissolució provoquen una precipitació més ràpida del solut, condicionant la mida, la forma i la quantitat de cristalls que s'obtenen.
- Pel que fa a la velocitat de refredament o d'evaporació de l'aigua, per aconseguir una bona cristal·lització cal que sigui el més lent possible, ja que com més temps tinguin les molècules per organitzar-se, millors cristalls s'obtindran.
- Si es produeix una precipitació ràpida del solut degut a una ràpida disminució de temperatura o a una ràpida evaporació del dissolvent, s'obtenen molts cristalls petits i molt mal formats, juntament amb matèria amorfa (substància no cristal·litzada).

- Les millors condicions, doncs, perquè es formin bons cristalls són una baixa velocitat de refredament de la dissolució o evaporació del dissolvent i una concentració lleugerament saturada.
- Al posar una llavor en una dissolució, aquesta actua com a punt de nucleació i el cristall creixerà proporcionalment per tots els costats. També es possible que es formin cristalls nous a partir d'aquesta llavor.
- El fet que hi hagi impureses de iode i fluor a la sal comuna, no influeix en el tipus de cristalls que es formen.
- Per molt que es repeteixi exactament el mateix procediment i es facin dues dissolucions exactament iguals, els cristalls formats mai seran iguals. No existeixen dos cristalls iguals.

BIBLIOGRAFIA

Sulfato, www.escritoscientificos.es/trab1a20/sulfato.htm.

Proyecto Biosfera, recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/2ESO/tierrin/contenidos13.htm.

Evaporitas, edafologia.ugr.es/programas_suelos/practgen/factform5/evaporitas.htm.

“11.2.4 Estructura Cristalina Del Cloruro De Sodio (NaCl).” *Prezi.com*,
prezi.com/ctffffhbz4_x/1124-estructura-cristalina-del-cloruro-de-sodio-nacl/.

Acidos. “PROPIEDADES DEL SULFATO DE COBRE ” Polvo Azul Cristalino.” *Sulfato De Cobre*,
17 Sept. 2019, www.sulfatodecobre.org/propiedades/.

Acidos. “SULFATO DE COBRE PENTAHIDRATADO ” Vitriolo Azul.” *Sulfato De Cobre*, 17 Sept.
2019, www.sulfatodecobre.org/pentahidratado/.

“Agua De Mar.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 27 Oct. 2020,
es.wikipedia.org/wiki/Agua_de_mar.

“Agua De Mar. Composición, Propiedades y Beneficios De Su Uso.” *Rioka*, 11 May 2019,
www.rioka.es/agua-de-mar/.

Biologia-Geologia.com. "BIOLOGÍA - GEOLOGÍA . COM." *Rocas Sedimentarias: Detríticas, De Origen Químico y Bioquímico, Evaporíticas, Organógenas*,
biologia-geologia.com/BG1/3221_rocas_sedimentarias.html#detríticas.

Bióloga, por N. Rodríguez Salazar. "Origen De Los Minerales ¿Cómo Se Forman? Factores Intervinientes." *Naturaleza Paradais Sphynx*, 5 Sept. 2020,
naturaleza.paradais-sphynx.com/geosfera/origen-de-los-minerales.htm#mineralogenesis.

Bolívar, Por Gabriel, et al. "Cloruro De Sodio (NaCl): Estructura, Propiedades, Usos." *Lifeder*, 9 June 2019, www.lifeder.com/cloruro-de-sodio/#Solubilidad_en_agua.

"Capítulo 3." *INSUGEO*, www.insugeo.org.ar/libros/misc_21/03.htm.

"Cristalización." *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 10 Oct. 2020,
es.wikipedia.org/wiki/Cristalización#Enfriamiento_de_una_disolución_concentrada.

"Dihidrogenfosfat D'amoni." *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 1 July 2020,
ca.wikipedia.org/wiki/Dihidrogenfosfat_d'amoni.

"Estructura De NaCl. Cloruro De Sodio." *Descripciones*,
www.uv.es/quimicajmol/quimica3d/indice_estructuras/describir/nacl/index.htm.

"Evaporita." *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 26 May 2020, es.wikipedia.org/wiki/Evaporita.

"Evaporita." *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 26 May 2020, es.wikipedia.org/wiki/Evaporita.

“F.” *Rincón Solidario*, www.rinconsolidario.org/minerales/formacion.htm.

“Familia De Cristales Hexagonales - Hexagonal Crystal Family.” *Familia De Cristal Hexagonal - Hexagonal Crystal Family* - *Qaz.wiki*, es.qwe.wiki/wiki/Hexagonal_crystal_family.

“Fosfato Monoamónico.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 30 Aug. 2019, es.wikipedia.org/wiki/Fosfato_monoamónico.

“Grafito.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 24 Oct. 2020, es.wikipedia.org/wiki/Grafito.

Higueras, Pablo Higueras. 3.- *Los Yacimientos Minerales: Bases Para Una Clasificación*, previa.uclm.es/_users/higueras/yymm/YM3.html.

“Hábito Cristalino.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 22 May 2020, es.wikipedia.org/wiki/Hábito_cristalino.

“LA SALINIDAD EN EL AGUA - Milwaukee.” *Milwaukee Spain*, 1 Aug. 2019, milwaukee.cat/la-salinidad-en-el-agua/.

Lusegil. *IPB II*, 7 May 1970, cursolusegil.blogs.upv.es/2018/05/07/nucleacion-y-crecimiento-del-cristal/.

“Metamorfismo.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, es.wikipedia.org/wiki/Metamorfismo#Metamorfismo_de_contacto.

“Noticias De Un Espía En El Laboratorio.” *Noticias De Un Espa En El Laboratorio*, espiadellabo.com/formas-cristalinas/triclinico/.

“Roca Filoniana.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 10 July 2020,
es.wikipedia.org/wiki/Roca_filoniana.

“Roca Plutónica.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 4 Oct. 2020,
es.wikipedia.org/wiki/Roca_plutónica.

“Rocas Bioquímicas.” *Scribd*, Scribd, www.scribd.com/doc/267689504/Rocas-Bioquimicas.

“Sistema Cristalino.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 11 May 2020,
es.wikipedia.org/wiki/Sistema_cristalino.

“Sistema Cristalino Monoclínico.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 23 Sept. 2020,
es.wikipedia.org/wiki/Sistema_cristalino_monoclínico.

“Sistema Cristalino Ortorrómbico.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 16 Jan. 2020,
es.wikipedia.org/wiki/Sistema_cristalino_ortorrómbico.

“Sistema Cristalino Tetragonal.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 16 Jan. 2020,
es.wikipedia.org/wiki/Sistema_cristalino_tetragonal.

“Sistema Cristalino Trigonal.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 16 Jan. 2020,
es.wikipedia.org/wiki/Sistema_cristalino_trigonal.

“Sistema De Cristal Ortorrómbico - Orthorhombic Crystal System.” *Sistema De Cristal Ortorrómbico - Orthorhombic Crystal System - Qaz.wiki*,
es.qwe.wiki/wiki/Orthorhombic_crystal_system.

“Sistema De Cristal Tetragonal - Tetragonal Crystal System.” *Sistema De Cristal Tetragonal - Tetragonal Crystal System - Qaz.wiki*, es.qwe.wiki/wiki/Tetragonal_crystal_system.

“Sistema De Cristal Triclínico - Triclinic Crystal System.” *Sistema De Cristal Triclínico - Triclinic Crystal System - Qaz.wiki*, es.qwe.wiki/wiki/Triclinic_crystal_system.

“Sistema Hexagonal.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 6 Oct. 2020,
ca.wikipedia.org/wiki/Sistema_hexagonal.

“Formación de cristales de sal” *Asociencia*,
<https://webs.ucm.es/info/analitic/Asociencia/Cristalizacion.pdf>

“Sistema Triclínico.” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 29 Aug. 2020,
ca.wikipedia.org/wiki/Sistema_triclínico.

“Pràctica de cristal·lització ADP” *INS de Castellar*, Miquel Calvet, 2014,
<http://www.ub.edu/laubdivulga/concurscristalitzacio/doc/Miquel%20Calvet%20Pr%C3%A0ctica%20de%20cristal%20litzaci%C3%B3%20ADP.pdf>

“Sistemas Cristalinos” *Bravais*,
<http://materias.df.uba.ar/e2a2018c1/files/2018/03/Bravais.pdf>

“Sulfato De Cobre (II).” *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 16 Oct. 2020,
es.wikipedia.org/wiki/Sulfato_de_cobre_(II).

“5 Investigación Bibliográfica” *UDLAP*,

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leia/maru_j_ms/capitulo3.pdf

“¿Cómo Se Forman Los Minerales?” *McGraw-Hill*,

www.mheducation.es/blog/como-se-forman-los-minerales.

“▷ Metamorfismo - Tipos De Metamorfismo y Agentes Metamórficos.” *GEOLOGIAWEB*, 27 June 2020, geologiaweb.com/rocas-metamorficas/metamorfismo/#Metamorfismo_dinamico.


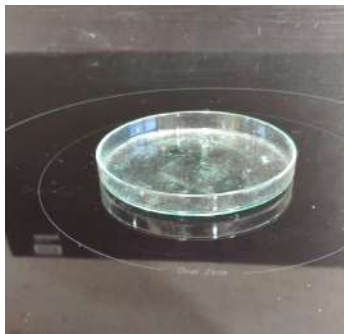
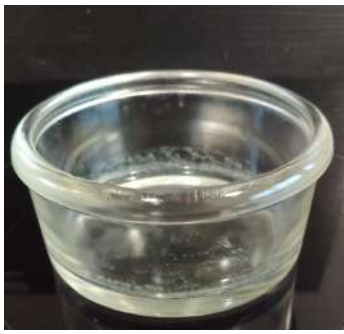



“▷ Rocas Sedimentarias TIPOS, Clasificación y Ejemplos.” *GEOLOGIAWEB*, 30 Aug. 2020, geologiaweb.com/rocas-sedimentarias/#Quimicas_o_quimogenicas.

“▷ Rocas Sedimentarias TIPOS, Clasificación y Ejemplos.” *GEOLOGIAWEB*, 30 Aug. 2020, geologiaweb.com/rocas-sedimentarias/.

ANNEX I

Material i substàncies utilitzades a aquest treball experimental

Material:






Vas de precipitats	Placa de Petri	Cristalitzador
		
Balança	Espàtula-cullera de laboratori	Vareta de vidre
		
Termòmetre	Portaobjectes	Comptagotes

		
<p>Agulla emmanegada</p>	<p>Lupa binocular (Euromex)</p>	<p>Microscopi amb càmera (Euromex bScope series)</p>
		
<p>Recipients on posar Les dissolucions</p>	<p>Material aïllant de porexpan</p>	
		

Quadre 1 Material utilitzat

Font: autor del treball

Substàncies:

<p>Clorur de sodi (NaCl)</p>	<p>Sulfat de coure pentahidratat (CuSO₄ · 5H₂O)</p>	<p>Dihidrogenfosfat d'amoni o ADP (NH₄H₂PO₄)</p>
		
<p>Dicromat de potassi (K₂Cr₂O₇)</p>	<p>Permanganat de potassi (KMnO₄)</p>	
		

Quadre 2 Substàncies utilitzades

Font: autor del treball

ANNEX II

Procés de preparació d'una dissolució

Aquest és el procés de preparació d'una dissolució per si es volen repetir les pràctiques realitzades a l'estudi.

Material:

- Vas de precipitats
- Vareta de vidre
- Balança
- Font de calor
- Termòmetre
- Espàtula de laboratori

Procediment:

1. Mesurar la quantitat de dissolvent que es necessiti a un vas de precipitats.
2. Escalfar el dissolvent si és necessari.
3. Mesurar la quantitat de solut a una balança.
4. Afegir el solut al vas de precipitats amb el dissolvent i barrejar amb la vareta de vidre.
5. Posar la dissolució en un recipient i marcar amb un permanent o un boli la dissolució, concentració i altres característiques importants.



Fig. 55 Vas de precipitats amb aigua

Font: autor del treball



Fig. 56 Balança amb 32,0g de sulfat de coure

Font: autor del treball



Fig. 57 Vas de precipitats amb una dissolució de sulfat de coure

Font: autor del treball



Fig. 58 Cristal·litzadors amb una dissolució de sulfat de coure amb aigua

Font: autor del treball

ANNEX III

Procés d'elaboració de cristalls per la presentació

A la vegada que he anat realitzant totes les cristal·litzacions enfocades a demostrar diferents variables, també he anat fent cristalls més grans d'ADP fins obtenir-ne alguns que siguin grans i bonics per poder portar a la presentació del treball. Aquest procés ha sigut molt llarg i l'he hagut de repetir molts cops ja que els resultats que obtenia no m'agradaven prou. Tots els cristalls que no m'han agradat els he tornat a dissoldre i he repetit el procediment. D'aquesta manera he reciclat material i no n'he gastat tant.

Cristall 1



Fig. 59 Primer cristall gran amb una concentració de 1500g/2500ml

Font: autor del treball

Cristall 2



Fig. 60 Segon cristall gran amb una concentració de 1575g/2500ml i li he afegit permanganat de potassi

Font: autor del treball

Cristall 3



Fig. 61 Tercer cristall gran amb una concentració de 1575g/2500ml

Font: autor del treball

Cristall 4



Fig. 62 Quart cristall gran amb una concentració de 1500g/2500ml

Font: autor del treball

Cristall 5

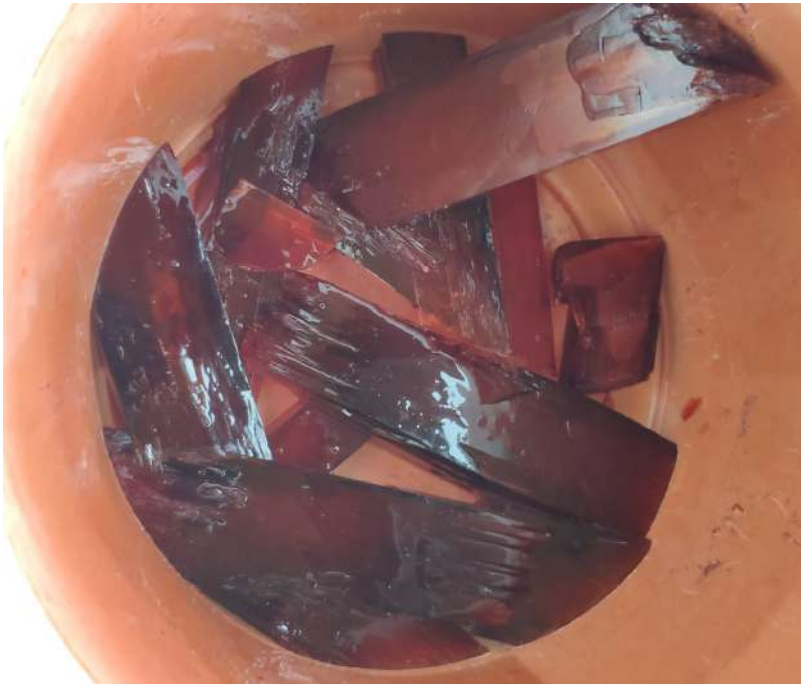


Fig. 63 Cinquè cristall gran amb una concentració de 1600g/2500ml

Font: autor del treball

Cristall 6



Fig. 64 Sisè cristall gran amb una concentració de 1700g/3000ml

Font: autor del treball

Cristall 7



Fig. 65 Setè cristall gran amb una concentració de 1800g/3000ml

Font: autor del treball

Cristall 8



Fig. 66 Vuitè cristall gran amb una concentració de 1900g/3000ml i un cristall com a llavor de 187,6g

Font: autor del treball

ANNEX IV

Formació de cristalls a nivell microscòpic

Els enllaços indicats a continuació corresponen a vídeos originals realitzats per l'autor del present treball de recerca amb un microscopi amb càmera (Euromex bScope series).



Formació cristall NaCl

Font: autor del treball



Formació cristall ADP

Font: autor del treball



Formació cristall $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Font: autor del treball

ANNEX V

Full de seguretat de les substàncies



Full de seguretat de l'ADP
($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$)

Font: <http://isusa.com.uy/>



Full de seguretat del sulfat de
coure ($\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)

Font: <https://www.fishersci.es/es/es/home.html>



Full de seguretat del dicromat
de potassi ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)

Font: <https://www.fishersci.es/es/es/home.html>



Full de seguretat del permanganat
de potassi (KMnO_4)

Font: <https://fagron.com/en>