

Estudio cristalográfico del sulfato de cobre (II) pentahidratado y del dihidrogenofosfato de amonio

Estudi cristal·logràfic del sulfat de coure (II) pentahidratat i del dihidrogenofosfat d'amoni

Crystallographic study of copper sulphate (II) pentahydrate and ammonium dihydrogen phosphate

Inmaculada Durán Torres y Ana M^a Martínez Martín / IES Bezmiliana, Rincón de la Victoria (Málaga)



resumen

Una de las partes más importantes y desconocidas, a nivel práctico, de la química es la cristalización. La técnica de la cristalización consiste en la ordenación de modo natural de los iones en un retículo repetitivo llamado *crystal*, conseguida bien por evaporación del disolvente, como, por ejemplo, en el sulfato de cobre (II) pentahidratado, o bien por enfriamiento controlado, como es el caso del dihidrogenofosfato de amonio (fosfatmonoamónico). En este artículo, se explica el proceso de cristalización del sulfato de cobre (II) pentahidratado y del dihidrogenofosfato de amonio. También se describe el diseño de un método metódico y sistemático para el crecimiento de estos cristales con un tamaño significativo, lo que permite disfrutar de su espectacularidad y belleza.

palabras clave

Soluto, disolvente, disolución saturada, diluida, sobresaturada, curvas de solubilidad, cristal.

resum

Una de les parts més importants i desconegudes, en l'àmbit pràctic, de la química és la cristal·lització. La tècnica de la cristal·lització consisteix en l'ordenació de manera natural dels ions en un reticle repetitiu anomenat *crystal*, aconseguida bé per evaporació del dissolvent, com, per exemple, en el sulfat de coure (II) pentahidratat, o bé per refredament controlat, com és el cas del dihidrogenofosfat d'amoni (fosfatmonoamònic). En aquest article, s'explica el procés de cristal·lització del sulfat de coure (II) pentahidratat i del dihidrogenofosfat d'amoni. També es descriu el disseny d'un mètode meticolós i sistemàtic per al creixement d'aquests vidres amb una grandària significativa, la qual cosa permet gaudir de la seva espectacularitat i bellesa.

paraules clau

Solut, solvent, solució saturada, diluïda, sobresaturada, corbes de solubilitat, cristall.

abstract

One of the most important and unknown aspects in the study of chemistry is the crystallization technique. The crystallization technique involves the natural ordering of the ions in a crystal lattice which is called a *crystal*, obtained either by evaporation of the solvent, as, for example, sulphate of copper (II) pentahydrate, or by cooling controlled, as is the case ammonium dihydrogen phosphate (monoammonium phosphate). In this paper, we explain the process of crystallization of sulphate of copper (II) pentahydrate and ammonium dihydrogenphosphate. We have also designed a thorough and systematic method for growing these crystals to a significant size, which allows their spectacular beauty to be enjoyed.

keywords

Solute, solvent, saturated solution, diluted, supersaturated, solubility curves, crystal.

Introducción

El sulfato de cobre (II) pentahidratado es el producto de la reacción química entre el sulfato de cobre (II) anhidro y agua. Esta sal se caracteriza por su color azul y sus rápidos cambios de temperatura al agregarle más agua. Su fórmula química es $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Este compuesto (fig. 1a) se utiliza para el tratamiento de aguas, como alguicida, para combatir las algas en depósitos y piscinas, y en agricultura, como desinfectante y para la formulación de fungicidas e insecticidas. También se utiliza en la conservación de la madera, como pigmento, en el tratamiento de textiles y cueros, en la preparación de reactivo de Benedict y de Fehling para la detección de azúcares, etc. Puede adquirirse en droguerías o en tiendas para el mantenimiento de piscinas.

El dihidrógenofosfato de amonio, también llamado *fosfato diácido de amonio* (de ahí el nombre ADP), de fórmula química $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, es un fertilizante agrícola también conocido como 12-60-0 (fig. 1b). Es un sólido pulverizado de color verdoso que contiene un 12 % de nitrógeno amoniacal y un 60 % de pentaóxido de difósforo. Al tener una solubilidad del 99,6 %, se emplea en cultivos como base de mezcla de otros fertilizantes. El nitrógeno y el fósforo que contiene influyen en el crecimiento de las hojas y raíces de las plantas. Este fertilizante se vende en sacos de 50 kg en comercios especializados en abonos agrícolas.



Figura 1. a) $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$;
b) $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$.

Objetivo del trabajo experimental

Nuestro objetivo es realizar el proceso de cristalización de esta sal, llevar a cabo una investigación sobre qué factores influyen en este proceso, anotar los resultados que vamos obteniendo y ver hasta dónde puede llegar el proceso de crecimiento de esta sustancia.

Para poder realizar esta investigación, debemos conocer los conceptos *disolución*, *soluto*, *disolvente*, *disolución saturada*, *diluida*, *sobresaturada*, *solubilidad*, *curvas de solubilidad* y *evaporación*. También debemos saber utilizar el instrumental de laboratorio, como la probeta, la balanza y el termómetro, y saber realizar las técnicas de la decantación y de la filtración. Pero, sobre todo, debemos tener tiempo y mucha paciencia, ya que estos procesos son lentos: requieren varios días, semanas y meses.



Figura 2. Cristales obtenidos tras la evaporación del disolvente.



Figura 3. Preparación de la disolución de dihidrogenofosfato de amonio.

El trabajo experimental

Material y reactivos

- Balanza
- Recipiente aislante
- Probeta
- Agua
- Termómetro
- Dihidrogenofosfato de amonio
- Calentador
- Sulfato de cobre (II) pentahidratado
- Vaso de precipitados

Procedimiento

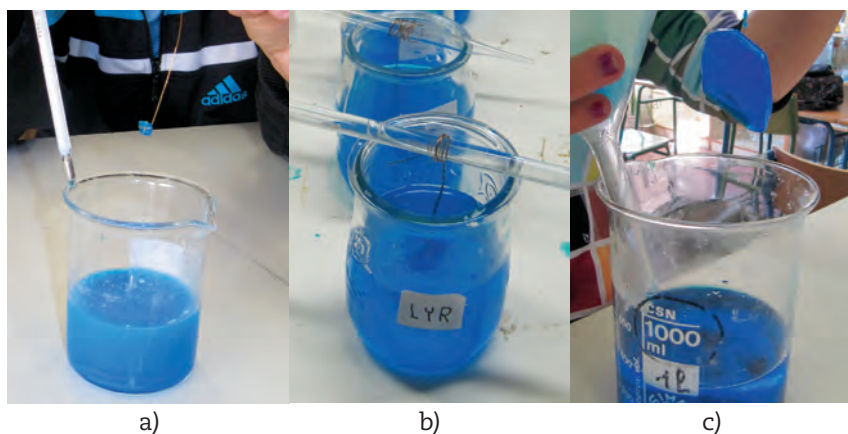
Obtención de cristales pequeños de sulfato de cobre (II)

1. En primer lugar, preparamos una disolución de sulfato de cobre (II) pentahidratado en agua. Para ello, tomamos 100 mL de agua a temperatura ambiente (18 °C) y le añadimos 40 g de esta sal.
2. Calentamos entre 60 °C y 80 °C y, luego, filtramos esta disolución y dejamos que se evapore el agua lentamente.
3. Al cabo de unos días, obtendremos pequeños cristales de esta sustancia (fig. 2).

Obtención de cristales de dihidrogenofosfato de amonio

1. Para preparar la disolución de fosfato monoamónico, medimos 500 mL de agua con la probeta y 330 g de fosfato monoamónico con la balanza.
2. Añadimos el soluto y el disolvente a un vaso de precipitados y calentamos la disolución, controlando la temperatura hasta 90 °C (fig. 3). Por último, aislamos la disolución en un recipiente de corcho para que se enfríe lentamente y, a los dos días, aparecerán estos «super-cristales».

Figura 4. Crecimiento de cristales de sulfato de cobre (II).

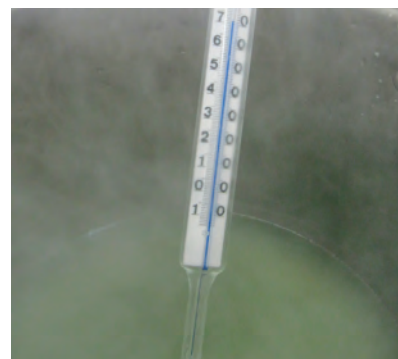


Crecimiento de los cristales

El objetivo de este trabajo experimental no solo es obtener cristales, sino también hacerlos crecer. Para ello hemos diseñado

un método general: preparando disoluciones saturadas y sobresaturadas e introduciendo en ellas la «semilla», o sea, el primer cristal obtenido.

Figura 5. Crecimiento de cristales de dihidrogenofosfato de amonio.



a) Disolución saturada.



b) Cristal inicial colocado en un recipiente de mayor tamaño.



c) Al cabo de unos días, le quitamos el líquido.



d) Podemos observar cómo ha aumentado de tamaño.

Sulfato de cobre (II) pentahidratado

Estos son los pasos del método que hemos seguido:

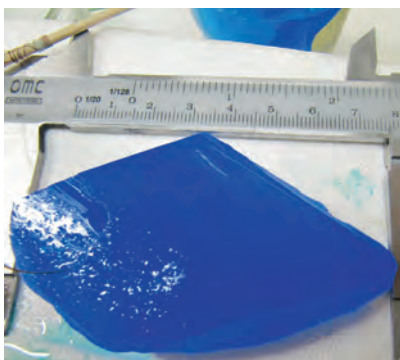
1. Atamos el cristal pequeño y lo introducimos en una disolución saturada (fig. 4a).
2. Dejamos la disolución en reposo y controlamos la temperatura (fig. 4b).
3. A las 24 h, revisamos la disolución y ya observamos que el cristal ha crecido, presentando una forma geométrica perfecta (fig. 4c).
4. Controlamos la masa y el tamaño.
5. Decantamos la disolución quitando algunos cristales con forma perfecta de rombo.
6. Calentamos la disolución para disolver los cristales que se han formado y, si es necesario, añadimos más agua y sal, calculando las cantidades necesarias según la curva de solubilidad.
7. Filtramos la disolución para eliminar impurezas.
8. Cuando la disolución está a la temperatura adecuada (40 °C), introducimos el cristal que queremos hacer crecer.
9. Si queremos obtener varios cristales juntos, la disolución debe estar sobresaturada; para ello, procedemos de la misma manera, pero añadimos más cantidad de sal por cada 100 mL de agua.

Dihidrogenofosfato de amonio

Una vez realizada la primera cristalización, comenzamos a hacer crecer los cristales preparando disoluciones saturadas e introduciendo en ellas los cristales ya formados:

- Preparamos una nueva disolución saturada (fig. 5a).
- Colocamos el cristal que queremos hacer crecer en un recipiente de mayor tamaño (fig. 5b).
- Le añadimos la nueva disolución saturada.
- Tapamos bien.
- Aislamos lo mejor posible.
- Al cabo de unos días, sacamos el líquido (fig. 5c).
- Podemos observar cómo los cristales han crecido (fig. 5d).

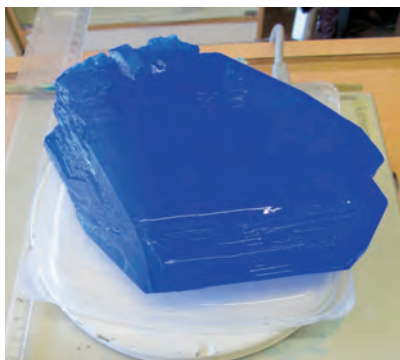
Figura 6. Seguimiento del tamaño y masa de cristales de sulfato de cobre (II) pentahidratado.



a) Control de tamaño: 8,35 cm.



b) Distintos crecimientos.



c) Control de masa: 1.059,8 g.



d) Cristal de disolución sobresaturada.

Resultados

A lo largo del tiempo que hemos trabajado en este proyecto, hemos llevado a cabo el crecimiento de varios cristales. Para cada uno de ellos, hemos hecho un registro anotando la fecha, la masa, el tamaño y si añadimos más agua o más sal. Cada vez que hacemos esta revisión, además de anotar la evolución, siempre decantamos y filtramos la disolución. Comprobamos que la disolución cubra totalmente el cristal que estamos haciendo crecer y que el recipiente en el que

está no se haya quedado pequeño. En muchos casos, el hilo de cobre que sujeta el cristal de sulfato de cobre (II) se acaba rompiendo, ya que no aguanta el peso del nuevo cristal; en algunos casos, le atamos un nuevo hilo de pescar, mientras que en otros lo dejamos apoyado sobre una de sus caras. Hemos ido registrando con fotos los resultados de la evolución de nuestros cristales, tanto de sulfato de cobre (II) pentahidratado (fig. 6) como de dihidrogenofosfato de amonio (fig. 7).



Figura 7. Seguimiento del tamaño de cristales de dihidrogenofosfato de amonio.



Figura 8. Alumnos de 4º de la ESO.



Figura 9. Alumnos de 3º de la ESO.



Figura 10. Cristales de dihidrogenofosfato de amonio obtenidos por los alumnos.



Figura 11. El trabajo de cristalización y recristalización de sulfato de cobre (II) pentahidratado.



Figura 12. Alumnos trabajando en el laboratorio.

Utilización en el aula

Esta experiencia la hemos llevado a cabo con diversos grupos de alumnos: por un lado, con los alumnos del programa de diversificación curricular, en la asignatura de Ámbito científico tecnológico, tanto de 4º como de 3º de la ESO (fig. 8 y 9). Con estos alumnos, disponemos de 7 h a la semana, lo que nos permite trabajar la parte conceptual de manera práctica.

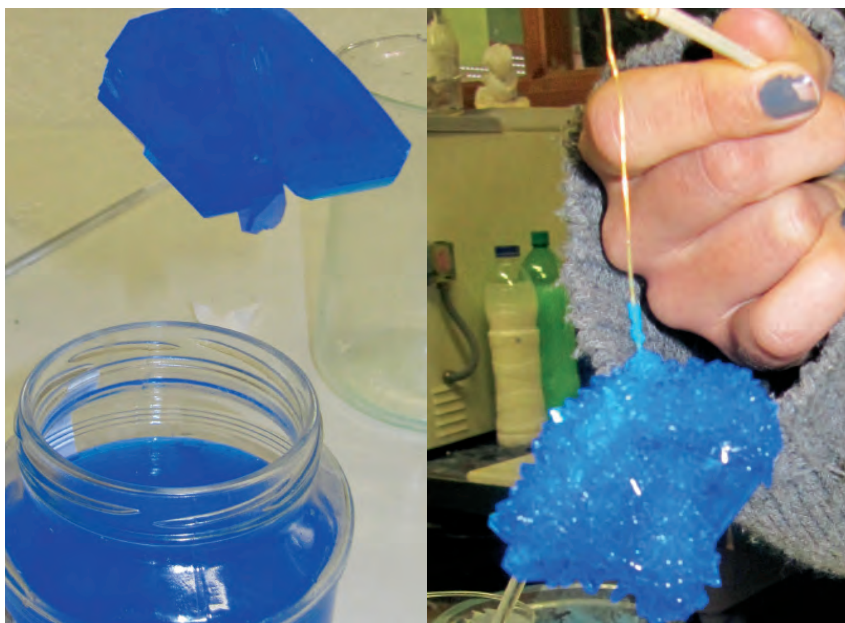
Se trabajan conceptos básicos como *masa*, *volumen* y *temperatura*. Los alumnos aprenden con facilidad los conceptos *disolución*, *soluto*, *disolvente*, *disolución diluida*, *concentrada*, *saturada* y *sobresaturada*. También son capaces de utilizar gráficos de curvas de solubilidad que expresan relaciones entre el soluto, el disolvente y la temperatura, conceptos fundamentales para llevar a cabo crecimientos de cristales. También aprenden a realizar correctamente las técnicas de decantación y filtración, que utilizan con frecuencia, así como a utilizar el material adecuado y a conocer las precauciones a tener en cuenta, como el cuidado con la temperatura, la utilización del material de tamaño adecuado, la correcta elaboración de los filtros de papel, el control del tiempo de filtrado y el orden y la limpieza del material utilizado antes de terminar la clase. Todo ello les obliga a organizar muy bien el tiempo del que disponen. También debe llevar cada uno de ellos un registro del trabajo realizado. En este registro de datos, perciben el aumento de la masa del cristal y pueden comprobar cómo va aumentando a lo largo del proceso.

Esta experiencia también la hemos realizado con alumnos de 4º de la ESO y con alumnos de 1º y 2º de bachillerato, en la asignatura de Proyecto integrado: club científico, con 1 h a la semana. A pesar de tener poco tiempo,



Figura 13. Midiendo el volumen y registrando el resultado.

Figura 14. Influencia de la concentración.



a) Disolución saturada.

b) Disolución sobresaturada.

estos alumnos han conseguido realizar sus cristalizaciones, la experiencia les ha resultado muy entretenida e interesante y a muchos de ellos les ha resultado también muy motivadora, por los resultados que iban obteniendo y por las conclusiones que iban sacando (fig. 11 y 12).

Los alumnos han aprendido a llevar a la práctica conceptos difíciles de abordar en la parte teórica, como *curva de solubilidad*, pero que resultan muy interesantes e útiles cuando se llevan a la práctica.

Otro grupo de alumnos realiza esta experiencia durante los

30 min del recreo, de manera voluntaria. Ofrecemos esta posibilidad a nuestros alumnos y un grupo de ellos profundiza en estas experiencias, de manera que, a pesar del poco tiempo de que disponen, los alumnos sacan mucho provecho y disfrutan haciendo ciencia.

Los alumnos no utilizan por el momento las batas de laboratorio, pero está previsto su uso en el futuro para trabajar de la manera apropiada en el laboratorio. Las sustancias utilizadas no son peligrosas en su manipulación y las actividades prácticas realizadas

no generan residuos, puesto que el agua se evapora y las disoluciones y los cristales se reciclan de unas experiencias a otras.



Figura 15. Recristalizando.

Conclusiones

Hemos trabajado todos los conceptos referentes a las disoluciones: *disolvente*, *soluto*, *curva de solubilidad* y *saturación*. Nuestros alumnos se hacen expertos en medir masas, volúmenes, temperaturas, calentar, decantar, filtrar, limpiar, ordenar y registrar los resultados (fig. 13).

La cristalización de estas sustancias requiere hacer cálculos de solubilidad, teniendo en cuenta la temperatura en todo momento y siendo meticulosos.

Si preparamos una disolución diluida, el cristal decrecerá (nos ha pasado en varias ocasiones). También hay que tener cuidado para no preparar una disolución sobresaturada; en este caso, los resultados son muy bonitos, pero si solo queremos obtener un único cristal (monocristal) al que hacer crecer, no lo conseguiremos. Pero si tenemos la disolución bien preparada, saturada, en este caso el cristal no se disolverá y crecerá (fig. 14).

Esta técnica de cristalización también permite obtener una sustancia más pura: *recristalización*. Por ello, la disolución se termina impurificando y debemos filtrarla muy a menudo para quitar todas estas impurezas (fig. 15). En la fig. 16 se muestran imágenes de cristales de dihidrogenofosfato de amonio.

Estudiamos también la diferencia entre *vidrio* y *crystal*, asociándolos al desorden y orden de las partículas y modelizando estas estructuras.

Uno de nuestros objetivos es la divulgación del trabajo realizado con los alumnos participando en encuentros y concursos de ciencia, como «Diverciencia» en Algeciras, «Ciencia en Acción» en Lleida, encuentros en Granada, el encuentro Bezmiliana y concursos de cristalización en nuestro centro (fig. 17 y 18).



Figura 16. Imágenes de cristales de dihidrogenofosfato de amonio.



Figura 17. «Diverciencia», Algeciras.



Figura 18. Encuentro Bezmiliana.

Para más información, pueden consultarse los apuntes del curso de verano «Cristalización en la escuela» de la Universidad Internacional Menéndez Pelayo, impartido en julio de 2010, y las siguientes páginas web:

[http://es.wikipedia.org/wiki/Sulfato_de_cobre_\(II\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Sulfato_de_cobre_(II)) [Consulta: 20/2/2012]

<http://corporacionmajluf.galeon.com/productos1918130.html> [Consulta: 20/2/2012]

<http://www.esritoscientificos.es/trab1a20/sulfato.htm> [Consulta: 20/2/2012]

Referencias

GARCÍA RUIZ, J. M. «El misterio de los cristales gigantes» [en línea]. *El País* (5 octubre 2008).

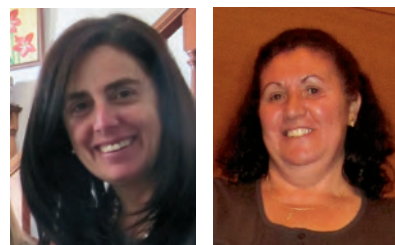
<http://www.elpais.com/articulo/portada/misterio/cristales/gigantes/elpepusoceph/20081005elpepspor_8/Tes>

¿Quieres hacer tu propio cristal gigante? [en línea]. Granada: Triana Science & Technology, s. f.

<http://www.trianatech.com/index.php?option=com_content&view=article&id=125&Itemid=110&lang=es>

WOOD, E. A. *Cristales: Un manual para profesores de enseñanza primaria y secundaria* [en línea]. Chester: Unión Internacional de Cristalografía. Comisión de Enseñanza de la Cristalografía, 2001.

<<http://oldwww.iucr.org/iucr-top/comm/cteach/pamphlets/20/es/index.html>>



Ana Mª Martínez Martín
y **Ana Inmaculada Durán Torres**

Son profesoras de Física y química en el IES Bezmiliana del Rincón de la Victoria (Málaga) y forman parte del Club Científico Bezmiliana. Licenciadas en Ciencias Químicas por la Universidad de Málaga, han sido finalistas en las tres últimas ediciones de «Ciencia en Acción» (en demostraciones de química) y ganadoras en una de ellas. Han recibido varios premios por su participación en varios concursos de ciencias y han obtenido en dos ocasiones el Premio a la Excelencia Educativa.

C. e.: martinezm.ana@gmail.com;
sofiaifa@hotmail.com.