

# Crecimiento de cristales en el curso de Física del Estado Sólido en pregrado de Nanotecnología



Palomares Mendoza José Guadalupe<sup>1</sup>, Almaguer Medina Jaime Francisco<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro Universitario de Tonalá, Universidad de Guadalajara, Av. Nuevo Periférico No. 555, Ejido San José Tatepozco, 48525 Tonalá, Jal.

<sup>2</sup>Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, Blvd. Marcelino García Barragán 1421, esq. Calz. Olímpica, 44430 Guadalajara, Jal.

E-mail: palomaresjose@gmail.com

(Recibido el 4 de abril, aceptado el 6 de mayo)

## Resumen

Para los estudiantes del tercer semestre de la Licenciatura en Ingeniería en Nanotecnología de la Universidad de Guadalajara los diversos modelos abstractos del curso de Física del Estado Sólido hacen difícil su entendimiento. No obstante la actual abundancia de modelos físicos y computacionales que apoyan los contenidos teóricos relacionados con la formación de estructuras cristalinas, desarrollar por propia cuenta el crecimiento de cristales de sulfato de cobre pentahidratado (vitriolo azul) y de sulfato de magnesio (sal de Epsom) como una experiencia educativa que involucra el aula y el laboratorio de manera paralela al poner en práctica los nuevos conceptos y modelos mediante una experiencia activa concreta que involucre reflexión es crucial para dichos estudiantes de ingeniería.

Este trabajo presenta los resultados y aspectos más relevantes del desarrollo de aprendizajes en los estudiantes para el crecimiento de los cristales antes mencionados, lo cual da cuenta del grado de comprensión de los contenidos teóricos involucrados en esta actividad y el curso antes referido.

**Palabras clave:** Aprendizaje activo, Ayudas educativas, Experimentos de laboratorio.

## Abstract

For third semester students of Licenciatura en Ingeniería en Nanotecnología at the Universidad de Guadalajara the huge burden of abstract models in the Solid State Physics course make them difficult to understand it. Nevertheless of the current plenty physical and computational models that support theoretical contents related to the formation of crystal structures, develop by their own self the grown of copper sulfate pentahydrate crystals and magnesium sulfate crystals as an educational experience that involves classroom and laboratory side to side by practice the new concepts and models by means of an active concrete experience that involves cogitation is crucial for the aforementioned engineer students.

We present the more relevant results and aspects in developing of learning in students for the aforementioned crystals growing, which accounts the comprehension level of theoretical contents involve in this activity and the aforementioned course.

**Keywords:** Active learning, Educational aids, Laboratory experiments.

**PACS:** 01.40.-d, 01.50.-i, 01.50.Pa

**ISSN 1870-9095**

## I. INTRODUCCIÓN

Los cursos de Física del Estado Sólido son de índole filosófico por su gran carga de modelos abstractos que hacen difícil su entendimiento para un estudiante de tercer semestre de ingeniería. Al ser la ingeniería la aplicación de conocimientos científicos y tecnológicos para innovar, diseñar, perfeccionar y mejorar técnicas, procedimientos y herramientas, se emplea como ayuda educativa el crecimiento de cristales por los estudiantes del tercer semestre del curso de Física del Estado Sólido de la Licenciatura en Ingeniería en Nanotecnología.

Siendo en el papel un curso eminentemente teórico, ajustar la secuencia didáctica para entreverar experimentos

no demostrativos generó la necesidad de revisar de manera conjunta las habilidades que les permitan ampliar su desarrollo teórico de manera aplicada, i.e., desarrollar en los estudiantes competencias profesionales.

De acuerdo con la OCDE, se entiende por "competencias" a aquellas habilidades y capacidades adquiridas a través de un esfuerzo deliberado y sistemático por llevar a cabo actividades complejas. Es decir, es la capacidad que se consigue al combinar conocimientos, habilidades, actitudes y motivaciones al aplicarlas en un determinado contexto: en la educación, el trabajo o el desarrollo personal. Una competencia no está limitada a elementos cognitivos (uso de teorías, conceptos o

conocimientos implícitos), sino que abarca tanto habilidades técnicas como atributos interpersonales [1].

El reto de poner en práctica los nuevos conceptos mediante una experiencia activa concreta que involucre reflexión por los estudiantes supone entonces la implementación de prácticas de laboratorio mediante fenómenos medibles.

## II. REFERENTES TEÓRICOS

La reciente creación del pregrado en Nanotecnología en el Centro Universitario de Tonalá de la Universidad de Guadalajara, implica elevar la calidad de la educación mediante un cambio cualitativo que desarrolle tanto capacidades como habilidades cognitivas, conjuntamente con las apropiadas para la inserción inmediata de los alumnos egresados del pregrado a la vida laboral. Lo anterior ha creado grandes retos para los docentes de nuestro centro. Estudios previos han reportado las competencias profesionales específicas necesarias para un egresado de pregrado en Nanotecnología en la Comunidad Económica Europea [2] y Estados Unidos [3]; inclusive para su inserción laboral como técnicos en Nanotecnología en los Estados Unidos de Norteamérica [4].

Actualmente la economía basada en el conocimiento demanda recursos humanos calificados; los cuales no abundan. A su vez, es generalmente aceptado que las competencias se dividen en dos grandes grupos: aquellas relacionadas con conocimientos profesionales, con herramientas de trabajo o con técnicas de producción y aquellas que más bien se relacionan con la forma en que las personas trabajan juntas, interactúan, se comunican o manejan sus emociones. A las primeras se les conoce como competencias técnicas o “duras”, mientras que a las segundas como sociales o “suaves” [2, 5].

Las competencias profesionales a desarrollar con los experimentos propuestos son:

- Demuestra habilidades de laboratorio mediante la preparación de pruebas y análisis de datos.
- Demuestra competencias técnicas generales al recordar información clave específica (procedimientos, referencias, terminología y acrónimos).
- Demuestra buenas habilidades de comunicación oral y escrita mediante reportes pertinentes.
- Demuestra trabajo efectivo en equipo al manejar el tiempo de forma efectiva.

En este sentido, la realización de este trabajo es relevante al presentar una alternativa de aprendizaje activo que permita mejorar la comprensión de los contenidos teóricos del curso a través del método científico, al tiempo que desarrolla competencias profesionales en los estudiantes. De igual manera, los resultados son útiles para retroalimentar los programas actuales que implican contenidos de Física del Estado Sólido en ingenierías, al presentar una estrategia que pudiera facilitar otras analogías ajustadas a las necesidades propias de otras instituciones.

## III. METODOLOGÍA

El enlace atómico y la microestructura determinan en gran medida las propiedades de los materiales sólidos. Además, algunas de las propiedades de los sólidos cristalinos dependen de la estructura cristalina del material.

En general la mayoría de los materiales tiende o busca formar un arreglo periódico debido a que esta configuración maximiza la estabilidad termodinámica del material.

El objetivo de estos experimentos es analizar el crecimiento de cristales por disolución para comprender la manera en que las variables termodinámicas intervienen en la formación de semillas de cristales y su relación con la regla de la palanca, el crecimiento de cristales, celdas de Bravais, además de maclas y dislocaciones.

Sin embargo, se pidió a los estudiantes el responder varias preguntas sobre los riesgos en el manejo de los reactivos implicados; previa lectura en casa de las respectivas hojas de seguridad, de esta manera se evidenció el desarrollo de la competencia técnica general que involucra el recordar información clave específica (procedimientos, referencias, terminología y acrónimos). Los estudiantes carentes de la misma debieron postergar la realización de los experimentos. Así mismo, se evidenció su nivel de comunicación oral.

Se emplearon durante los experimentos materiales sencillos de conseguir en un laboratorio de química, de forma que estos puedan realizarse sin grandes dificultades por estudiantes con escasas habilidades técnicas. Los procedimientos generales junto con los materiales se presentan a continuación.

### A. Materiales

- Agua destilada
- Sulfato de magnesio (Sal de Epsom)
- Sulfato de cobre pentahidratado (vitriolo azul)
- Espátula cuchara de laboratorio
- Filtro para cafetera
- Embudo cerámico o de vidrio
- Vaso de precipitados de 250 ml
- Vaso de precipitados de 500 ml
- Cristalizador sin pico
- Balanza analítica y/o digital
- Soporte universal
- Aro metálico
- Mechero de Bunsen ó mechero de Fisher
- Rejilla con amianto
- Vidrio de reloj
- Matraz de Erlenmeyer
- Pinza de bureta
- Termómetro

### B. Obtención de semillas de cristales

1. Mide 100 g de hielo finamente machacado.
2. Coloca el hielo en el cristalizador y agrégale 60 g de sal, agita hasta disolverla.
3. Mantén la mezcla lo mejor aislada posible para que mantenga su temperatura por más tiempo.
4. Registra la temperatura más baja para la mezcla.

5. Con cuidado, agrega 350 ml de H<sub>2</sub>O al vaso de precipitados de 500 ml.
6. Registra su temperatura.
7. Calienta el agua hasta que el termómetro indique 65°C.



**FIGURA 1.** Pulverizado del vitriolo azul (izq.) y posterior filtrado de la dilución (der.)

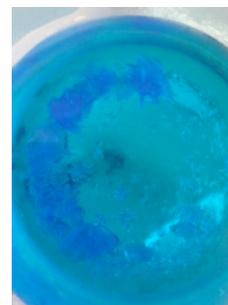
8. Agrega 50 g de Sulfato de Cobre en el vaso de 250 ml, con mucho cuidado agrégale 150 ml de agua caliente.
9. Agita la mezcla hasta que la mayor parte del sulfato quede disuelto (debe quedar saturada).
10. En otro vaso coloca el embudo con el filtro.
11. Filtra la mezcla con cuidado.
12. En un vidrio de reloj vierte un poco de la solución ya filtrada y enseguida colócala en la mezcla regelante. Pasos 1 y 2.
13. Anota tus observaciones.
14. Repite los pasos 8 al 13, empleando 80 g de Sulfato de Magnesio en lugar del Sulfato de Cobre.
15. Con la espátula cuchara retira los cristales de Sulfato de Magnesio y de Sulfato de Magnesio de sus respectivos vidrios de reloj.



**FIGURA 2.** Semillas de cristales de Sal de Epsom (izq.) y Semillas de Sal de Epsom 1 hr, (der.)



**FIGURA 3.** Semillas de Sal de Epsom 4 hrs.



**FIGURA 4.** Semillas de Vitriolo azul, dos días.

Mientras que una de las estudiantes demostró habilidades de laboratorio al momento de la preparación de pruebas, los demás se beneficiaron al observar como el manejo del tiempo en forma efectiva le permitió el desarrollo completo de los experimentos, mientras que los demás necesitaron de una sesión adicional para completarlos.

#### IV. RESULTADOS

Casi todos los resultados reportados por los estudiantes coincidieron en que las variables termodinámicas influyen en la formación de semillas. Siendo estas, variables extensivas; si su valor depende de la cantidad o porción del sistema que se encuentre que se considera, por ejemplo: masa, volumen, números de moles. Además de, variables intensivas: temperatura, presión, concentración, etc.

Para ellos, la que tuvo mayor importancia para que se pudieran formar cristales fue la concentración pues tenía que ser una disolución concentrada del disolvente y después se elevaba la temperatura de la disolución para de esta extraer una pequeña cantidad que se puede hacer que cristalice mediante un enfriamiento controlado en el cristizador.

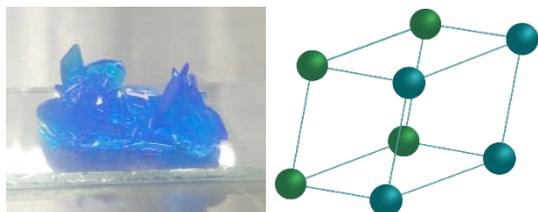
Lo anterior se repitió en los reportes escritos y durante las sesiones de clase en las cuales se retroalimentaron entre los estudiantes lo que mejoró su manejo efectivo del tiempo al recordar información clave específica que les permitió obtener mejores cristales. Algunos de los estudiantes crecieron hasta tres de cada sustancia.

Los estudiantes coincidieron que las diferencias entre los arreglos periódicos de los materiales son debidos a la estructura cristalina del elemento pues según la estructura que tengan es la forma que tendrán y la rapidez con la se

Palomares Mendoza José Guadalupe, Almaguer Medina Jaime Francisco formaran los cristales pues en unos es más fácil acoplarse que en otros.

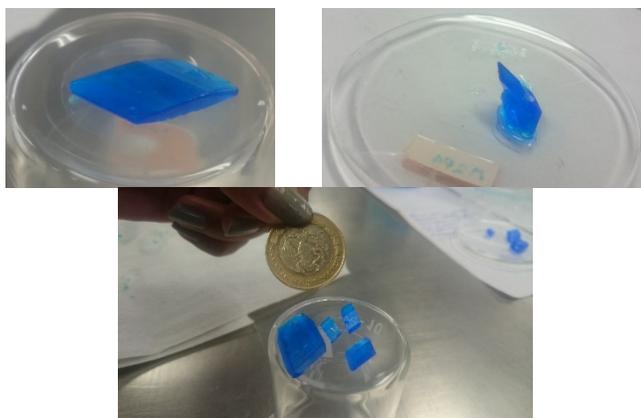


**FIGURA 5.** Semillas de cristales de Sal de Epsom (izq.) y semilla seleccionada para posterior crecimiento (der.), se observa su correspondiente red de Bravis hexagonal.



**FIGURA 6.** Semillas de Vitriolo azul (izq.) y la red de Bravis triclinica esperada (der.)

Una vez crecidos los cristales, sirvieron para ejemplificar algunos conceptos relacionados con las desviaciones o “defectos” de las estructuras cristalinas, e.g., maclas y dislocaciones.



**FIGURA 7.** Ejemplos de maclas y dislocaciones.

### A. El desarrollo de competencias

La aplicación del método científico mediante experimentos concretos requiere para el que los realiza la utilización de conceptos de diversas áreas de conocimientos. Es el adecuado involucramiento de ellos los dan cuenta del avance y éxito de los resultados experimentales, tanto escritos como físicos.

Las competencias profesionales a desarrollar con los experimentos propuestos fueron:

- Demuestra habilidades de laboratorio mediante la preparación de pruebas y análisis de datos.

- Demuestra competencias técnicas generales al recordar información clave específica (procedimientos, referencias, terminología y acrónimos).

- Demuestra buenas habilidades de comunicación oral y escrita mediante reportes pertinentes.

- Demuestra trabajo efectivo en equipo al manejar el tiempo de forma efectiva.

Físicamente cada cristal dio cuenta del grado de desarrollo de las competencias antes mencionadas. Por otra parte, cada reporte escrito fue también consecuente con ello. Así, una evidencia palpable fueron los cristales con menos maclas y mayor tamaño que correspondieron a los estudiantes con mejor desarrollo de las competencias antes mencionadas. Además, sus reportes fueron más concretos.

## VI. CONCLUSIONES

Los resultados presentados mediante los reportes de laboratorio evidenciaron el desarrollo de competencias profesionales, adicionalmente, se evidenció su desarrollo a lo largo de los experimentos y las retroalimentaciones entre los mismos estudiantes durante las sesiones de clase en los cuales identificaban la teoría implicada en el crecimiento de sus cristales.

Un resultado relevante fue que la implementación de experimentos desarrollo habilidades de laboratorio en los estudiantes, adicionalmente, se reforzaron los contenidos teóricos mediante el crecimiento de dos cristales con distinta red de Bravais. Las diferencias entre las estructuras cristalinas y el tiempo de formación de las mismas, mejoró la comprensión de los conceptos implicados en la formación de cristales desde la aparición de las respectivas semillas hasta el tamaño final de cada cristal.

Se evidenció una mayor comprensión de los procesos termodinámicos implicados. Lo anterior se vio reflejado al momento de las discusiones durante los experimentos y durante las sesiones de clase en las preguntas realizadas al profesor.

Se evidenció en los estudiantes el desarrollo de competencias profesionales duras lo cual se reflejó al voluntariamente crecer nuevos cristales. En consecuencia, las competencias suaves se evidenciaron durante las prácticas y de manera individual en los reportes de laboratorio.

Dentro de las limitantes presentadas al desarrollar la actividad encontramos la carencia de metodología experimental por parte de los estudiantes. No obstante, la realización de los experimentos rápidamente revirtió dicha limitación.

## REFERENCIAS

- [1] OECD, “Towards an OECD Skills Strategy”, OECD Publishing, OECD Skills Strategy, 44 p (2011).
- [2] Abicht, Lothar, et al., “Identification of skill needs in nanotechnology”, CEDEFOP Panorama series, 76 p (2006).
- [3] National Resource Center for Materials Technology Education, “Nano Tech Competencies Data Tables”,

- Crecimiento de cristales en el curso de Física del Estado Sólido en pregrado de Nanotecnología*, Materials Technology Competencies, Edmonds Community College, 13 p (2010).
- [4] National Resource Center for Materials Technology Education, “*Core Competencies for Technicians Working in Nanotechnology*”, Materials Technology Competencies, Edmonds Community College, 4 p (2010).
- [5] Centro de Investigación para el Desarrollo, A.C., *Encuesta de Competencias Profesionales 2014 (ENCOP)*, CIDAC, 171 p (2014).