

Experiencia con Modelos Tridimensionales aplicado a la Cristalografía Geométrica. Departamento de Geología. Universidad Nacional de Catamarca

Ana I. Ovejero¹, Sofía Sosa Medina¹, Elisa Achá¹

(1) Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca.
ingridovejero@hotmail.com

Fecha de recepción del trabajo: 10/05/17

Fecha de aceptación del trabajo: 29/08/17

RESUMEN: Se describe un procedimiento metodológico que utiliza recursos didácticos con modelos cristalinos abstractos, símiles a minerales. El objetivo principal hace referencia a las estrategias de enseñanza- aprendizaje, basadas en el manejo e interpretación tridimensional, la representación de la morfología del cristal en proyecciones estereográficas. Se observan que son deficitarios en el alumno y es fundamental en asignaturas básicas la asimilación de conceptos geométricos y representaciones gráficas. La metodología aplicada utiliza la construcción manual de modelos cristalinos, es descriptiva mediante la observación de la geometría plano-tridimensional, grafica modelos en posición espacial con referencia a un sistema de coordenadas para sistemas, interpreta la simetría de clases, notaciones de elementos geométricos, realiza ejercicios de medidas de ángulos y representa el cristal en dibujos de proyección tridimensional-plano. La experiencia metodológica, conduce a la resolución de competencias en el manejo de habilidades manuales, desarrolla nuevas capacidades del dibujo, a pensar en tres dimensiones y procedimientos que promueve el aprendizaje. El estudio del estado cristalino, aporta la base del conocimiento de la formación de minerales, en correlación a las asignaturas geológicas y al perfil profesional.

PALABRAS CLAVES: Morfología cristalina, Modelos de cartón, Ejercitación tridimensional

A LEARNING EXPERIENCE WITH THREE-DIMENSIONAL MODELS APPLIED TO THE GEOMETRIC CRYSTALLOGRAPHY. DEPARTMENT OF GEOLOGY. NATIONAL UNIVERSITY OF CATAMARCA.

ABSTRACT: A methodological process using learning resources with abstract crystalline models, similar to minerals is described. The main objective is to apply the manual handling and three-dimensional interpretation as well as the representation in a stereographic drawing, the morphology of the glass. The assimilation of geometric concepts and graphic representations are insufficient and unprofitable in the students while these are fundamental topics in basic subjects. The applied methodology uses the manual construction of crystalline models, is descriptive through the observation of the three-dimensional geometry, graphics in spatial position with reference to a system of coordinates for systems, interprets the symmetry of classes, performs angle measures and notations, and represents the crystal in three-dimensional projection drawings. This methodological experience leads to success in handling manual skills, develops new drawing skills and three dimensional thinking, thus promoting learning. The study of crystalline states provides previous knowledge foundation in correlation to applied geological subjects and career profile.

KEYWORDS: Crystalline morphology, Cardboard models, Three-dimensional exercise

1 INTRODUCCION

La Cristalografía Morfológica se desarrolla como ciencia auxiliar de la Mineralogía, se ocupa del estudio complejo de la organización de la materia cristalina, así como de todas las propiedades que derivan de ella. La importancia del estado cristalino, radica en el destino que tienen los componentes minerales en la industria y el beneficio de su uso en la sociedad.

Durante mucho tiempo, el objetivo de la Cristalografía, fue el estudio de las formas de los cristales (Nogués, Joaquín M. 1996), aun vigente esta modalidad en la actualidad, macroscópicamente se manifiesta como una configuración poliédrica, limitada por caras planas que

a menudo son el reflejo de la organización interna de la materia cristalina.

Ha sido muy notable, la fascinación de los primeros científicos estudiosos de la morfología encontrar explicaciones tan regulares y simétricas en los cristales. Se les ocurrió construir modelos artificiales idealizados, de un tamaño mayor al natural, que facilitara realizar medidas y comprobaciones necesarias, para llegar a encontrar definiciones aplicables en leyes cristalográficas.

Las primeras prácticas del estado cristalino, se hicieron con modelos diseñados por Jean Baptiste Romé de L'Isle (1736-1790), moldeados con arcilla a mano, llevada a cocción en un horno, estos modelos

representaban un gran valor estético. Sin embargo, desde el punto de vista docente, fueron muy interesantes las réplicas de madera, ideadas por Haüy (1743-1822) y comercializadas posteriormente por la firma alemana Krantz que, a finales del siglo XIX, diseñó alrededor de 900 prototipos que han servido de base para la enseñanza de la cristalografía en todo el mundo.

Los autores de este trabajo, describen una experiencia práctica realizada con alumnos de la asignatura de Mineralogía I, inserta en la Licenciatura en Geología de la Facultad de Tecnología y Cs. Aplicadas, la cual correlaciona en actividades, un estudio de la geometría de cristales naturales, con formas cristalinas idealizadas. La tarea del alumno se ha basado en la construcción de modelos geométricos con material de cartón, pintados en distintos colores y de tamaño aproximado al manual, para facilitar la observación, descripción geométrica, los valores de parámetros y comprensión de la simetría del estado sólido.

El estudio morfológico en modelos similares a minerales, es una práctica muy necesaria, que utilizando técnicas adecuadas de construcción, ejercitación e interpretación, obtiene mejores resultados en el uso del lenguaje técnico, terminologías, procedimientos educativos y la representación en dibujos de proyección tridimensional-plano.

2 OBJETIVO GENERAL

Aplicar herramientas de estudio orientadas a la resolución efectiva y eficaz en el manejo plano-tridimensional, utilizando modelos poliédricos ideales, que representan las formas cristalinas de minerales.

3 MÉTODOS Y TÉCNICAS

El procedimiento metodológico es descriptivo en actividades prácticas, mediante la utilización de un modelo cristalino ideal sólido, para la interpretación, manejo y ejercitación de la geometría y simetría cristalina, dificultades observadas en la construcción mental plano-tridimensional-plano y sus representaciones espaciales.

El desarrollo de la actividad inicia con la construcción de los poliedros, en tamaños fácilmente manejables y diferenciados en colores distintivos, un total de cuarenta y ocho formas cristalinas. La tarea principal es la distinción de grupos, sistemas y clases cristalinas. El color azul, corresponde al isométrico, el más numeroso y representa a parámetros con medidas iguales; el color rojo y anaranjado pertenece al grupo dimétrico, que posee dos medidas iguales y una tercera distinta y de color verde le corresponde al grupo trimétrico, con caracteres de tres parámetros diferentes (Figura. 1).



Figura 1. Modelos de cristales ideales construidos y diferenciados en grupos y sistemas cristalinos por colores

La diferenciación de colores, es un paso, muy significativo que permite al alumno/a ir seleccionando rápidamente *grupos cristalinos*, según los caracteres geométricos, en el modelo poliédrico. Con el manejo manual reconoce los parámetros de la red abc , si es más o menos redondeada, corresponde a formas cristalinas del grupo isométrico (igual medida), si presentan mayor desarrollo en una dirección, serán definidas en dimétricos y/o trimétricos (distintas medidas en su longitud). Esta tarea de observación e interpretación y el manejo manual, facilita el reconocimiento de caracteres cristalográfico de la red, una propiedad muy compleja de los cristales, Weyl H., (1975).

El proceso de identificación de la red ab (2D), la unidad estructural más pequeña del retículo cristalino, da lugar a su ubicación espacial en la forma macroscópica (3D), incorporando una tercera componente c , en relación a ejes de referencia z , y , x . Realiza gráficamente el trazado de rectas y líneas auxiliares que configura la red plana rectangular; cuadrada, hexagonal, rómbica y oblicua, que por apilamiento configura la red tridimensional. Los ángulos contenidos a los vectores a , b y c de la red tridimensional, se denominan parámetros de la red, y permiten determinar los *seis o siete sistemas cristalinos*, Dana J. D., (2006).

Un sistema de ejes cristalográficos, además fijar el correcto posicionamiento espacial de la red abc , ubica las caras del cristal que las contiene. Para ello analiza su posición con respecto a los ejes cristalográficos, definido con un índice deducido de las notaciones de Weiss y Miller de carácter universal, obtiene una expresión que reúne números enteros racionales sencillos y cero.

Finalmente, la tarea de medición de ángulos diedros en el modelo tridimensional, utiliza como herramienta de aplicación la proyección cristalina, que no es más que llevar las tres dimensiones, a un plano estereográfico o bidimensional, con ello representa en dibujos la simetría y sus valores angulares, definiendo la clase cristalina a la cual pertenece.

De este modo, el estudio metodológico de la geometría y simetría de los cristales mediante la ejercitación plano-tridimensional-plano, obtiene de una manera

sencilla y eficaz, mejores resultados y rendimientos en la resolución de problemas prácticos.

Un sistema de ejes cristalográficos, además del correcto posicionamiento espacial de la red abc ubica las caras del cristal que las relaciona. Para ello analiza su posición con respecto a los ejes cristalográficos, asignando índices en relación a un sistema de ejes coordenados, que deducido de notaciones de Weiss y Miller de carácter universal, resuelve una expresión de números enteros racionales sencillos y cero.

Finalmente, la tarea de medición de ángulos diedros en el modelo tridimensional, utiliza la representación plana de un dibujo de proyección cristalina, que no es más que llevar las tres dimensiones, a un plano estereográfico o bidimensional, con ello representa en dibujos la simetría y sus valores angulares, y define la clase cristalina a la cual pertenece.

De este modo, la metodología descriptiva, a través de la ejercitación por, observación y manejo plano-tridimensional y representación en dibujos de proyecciones tridimensional-plano, obtiene de una manera sencilla y eficaz, mejores resultados y rendimientos en la resolución de problemas prácticos.

4 CONSTRUCCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE REDES CRISTALINAS

Para el desarrollo de las distintas actividades prácticas del estado cristalino, el alumno/a deberá basarse del concepto de mineral, atendiendo los contenidos de las leyes de la Cristalografía. Un mineral, desde la morfología cristalina se designa un sólido homogéneo que configuran poliedros. La palabra poliedro proviene del griego y significa muchas caras. Los poliedros son cuerpos geométricos cuyas caras son todas polígonos (figuras geométricas planas). Por lo tanto un poliedro tienen todas sus caras planas y sus elementos geométricos son caras, aristas y vértices.

La simetría de un elemento geométrico, es la repetición del mismo en el espacio y/o en el tiempo. Una red en el modelo macroscópico del cristal se llama simetría puntual o finita y, considera la simetría en relación a distintos elementos geométricos, de un plano, un eje o un punto y combinaciones entre estos operadores, su estudio obedece a la *primera Ley de la Simetría*.

Los ejes cristalográficos, posicionan las formas cristalinas en el espacio, para ello se precisa sean orientados correctamente con referencia a un sistema de direcciones, con disposición antero-posterior (dirección x), que se dirige de atrás a delante; el transversal (dirección y), que se dirige de derecha a izquierda; y el vertical (dirección Z), que se dirige de arriba abajo, sobre los que se sitúan los parámetros a, b y c y ángulos respectivos, alfa beta y gamma. La intersección relativa de las caras del cristal a los tres ejes cristalográficos, en

sus valores positivos, se designa con números, si corta al eje le corresponde el número uno y si es de posición paralela la cara, se asigna cero. Su tratamiento es la *segunda Ley de Racionalidad de los índices o parámetros*, una expresión de un índice, que relaciona la posición de la cara de un cristal con los ejes cristalográficos.

La *tercera ley de la Constancia*, establece que los ángulos de caras equivalentes de la misma sustancia son constantes (deducido de la observación, midiendo los ángulos entre dos caras consecutivas). Nos dice que en los cristales de igual especie cristalina, tamaño y distancias que se encuentran las caras puede ser distinta pero que los ángulos que forman son homologas. Entendiendo como homologas a la posición de caras en el espacio bajo las mismas propiedades físicas y químicas.

Debido a que el tamaño y forma de las distintas caras de un cristal son accidentales del proceso de crecimiento, se reduce a un mínimo este aspecto con la proyección del cristal, situando las caras de acuerdo con sus relaciones angulares y sin consideraciones de su forma o tamaño. El dibujo de proyección en cristalografía permite conocer la simetría del cristal y la clase cristalina.

Una forma cristalina, en cristalografía se define como un grupo ideal de caras equivalentes relacionadas por elementos de simetría y que exhiben las mismas posibilidades físicas y químicas. En conjunto hay 48 tipos diferentes de poliedros, construidas para el estudio práctico.

Para la demostración se selecciono, la red tridimensional correspondiente al octaedro, considerada una forma simple de ocho caras, con caracteres geométricos que configuran triángulos equiláteros y comunes en diversas formas de minerales como magnetita (Fe_3O_4), cromita (FeCr_2O_4), espinela (MgAl_2O_4), cuprita (Cu_2O), oro (Au), diamante (C), pirita (FeS_2).

El procedimiento descriptivo aplicado a redes cristalinas, se realiza en los tres pasos siguientes: 1) Definición de la red bidimensional 2) Descripción de la red tridimensional y 3) Construcción de dibujos en proyecciones estereográficas

4.1 Actividad práctica 1: Definición de la Red Bidimensional.

4.1.1 Desarrollo

En el primer paso de la actividad, el alumno realiza el reconocimiento de la red plana, mediante la localización visual y manual dentro de la forma cristalina realiza el dibujo plano de la red, a analiza los elementos de simetría y operadores intervinientes.

Como se observa en la Figura 2, se aprecia la red plana de configuración cuadrada y la relación de los parámetros de la red $a=b$ iguales, corresponde al grupo isométrico...

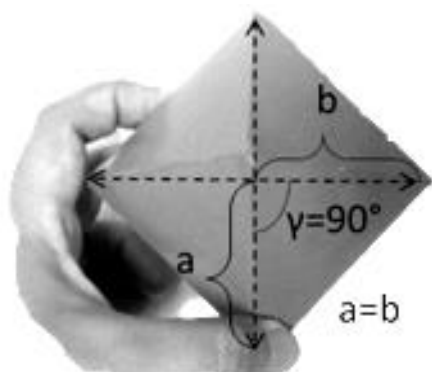


Figura 2. Red plana. Ubicación espacial de ejes en la red. Parámetros $a=b$ y $\gamma=90^\circ$

4.1.2 Resultados obtenidos

Esta actividad de ejercitación y manejo facilita la observación en el plano en un modelo tridimensional, con ello reconoce la geometría de las caras y la simetría que interviene. Es una práctica que se aplica en las cuarenta y ocho maneras de presentarse el estado cristalino e interpreta a través del dibujo la periodicidad en el plano reticular en un arreglo ordenado de la sustancia cristalina.

Desarrolla habilidades de interpretación de los elementos geométricos y de la simetría, relaciona los ejes cristalográficos, reconoce ángulos y parámetros, describe caracteres como el número y la forma de la cara y realiza la representación de la red en un dibujo plano- tridimensional.

4.2 Actividad práctica 2: Descripción de la Red Tridimensional.

Esta es una tarea intermedia, adonde el alumno relaciona la red tridimensional (forma cristalina) con la cruz axial, en sus tres direcciones según los parámetros y sus valores angulares para la clasificación del sistema cristalino. En este paso además, realiza la descripción en detalle de la simetría, determina la cantidad de caras de cada forma y correlaciona con la red plana, los elementos de simetría y define la clase cristalina, con la notación Herman Mauguin, dentro de las treinta y dos maneras de presentarse. En cristalografía una forma cristalina, se define como un grupo ideal de caras equivalentes relacionadas por elementos de simetría y exhiben las mismas propiedades físicas y químicas.

4.2.1 Desarrollo

Construida la cruz axial, se sitúa el eje c de referencia vertical, con ello posiciona la forma en el espacio y realiza la descripción, esta tarea se ejemplifica (Figura 3-a), adonde se aprecia los elementos de simetría, en

entidades geométricas (puntos, líneas y planos) respecto de las cuales se realizan las operaciones de simetría (rotación, reflexión e inversión), movimientos de giros sobre un punto fijo en el cristal observando la configuración equivalente y con ello determina la simetría.

Una vez identificada la forma geométrica, se le asigna el nombre que le corresponda. Finalmente procede a expresar la notación de Índices de Miller correspondientes a cada una de las caras en relación a los ejes cristalográficos (cruz axial). (Figura 3-b) El octaedro, en una forma compuesta por 8 caras triangulares equiláteras, cada una corta por igual los 3 ejes cristalográficos, se le asigna la notación de $\{111\}$.

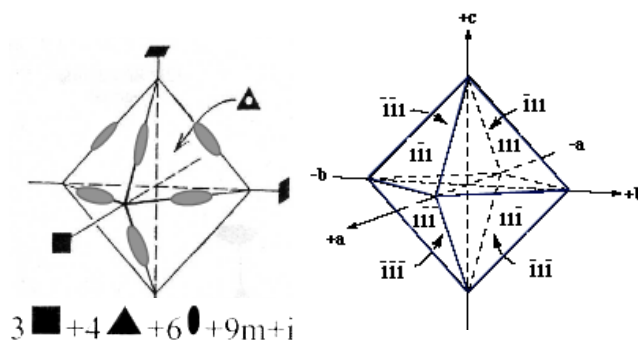


Figura 3. Red tridimensional a) Elementos de simetría cristalina b) Índices de Miller para las caras del cristal.

La suma de elementos de simetría que un cristal posee, se llama clase de simetría o grupo puntual. Los símbolos de Herman-Mauguin han sido ampliamente aceptados y por ello su uso es esencialmente universal. Puede expresar no solo la simetría externa (grupo de puntos) sino también la simetría interna (grupo espacial). Para el caso del octaedro, $4/m \bar{3} 2/m$ la clase cristalina se expresa números y letras. El primer término hace referencia al eje de simetría principal o de mayor orden, que coincide con el eje c cristalográfico y \bar{m} es un plano perpendicular a él; el segundo término a las cuatro direcciones diagonales (en este caso le corresponden a ejes ternarios de rotoinversión) y el tercer término designa a las direcciones entre las aristas que contiene a los ejes binarios y el plano perpendicular. La notación Herman Mauguin describe al octaedro dentro de la clase holoédrica denominada hexakisoctaédrica de mayor simetría.

4.2.2 Resultados obtenidos

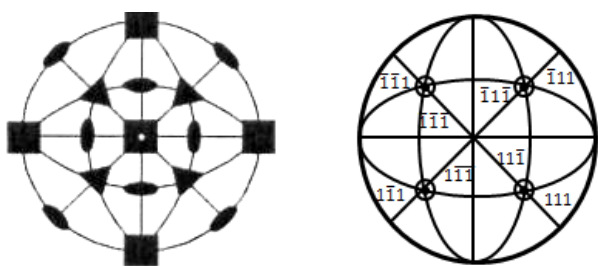
Describe la simetría cristalina, aprende nuevas terminologías y modos de expresión simbólica, relaciona con el dibujo las redes planas y tridimensionales con los elementos de simetría y la geometría de las caras. Analiza notaciones, y simbologías de Herman Mauguin, para las treinta y dos formas de configuración poliédrica en los cristales.

4.3 Actividad práctica 3: Construcción de Dibujos de Proyecciones Estereográficas

El estereograma es un medio de representar un cristal tridimensional en un plano bidimensional, revela la relación angular de las caras (polos) y la simetría.

4.3.1 Desarrollo.

Son representaciones donde la circunferencia es un plano y el dibujo a trazos indica la falta de este elemento de simetría. En cambio, la línea recta de trazo continuo indica la posición del plano de simetría; mientras que el eje de simetría se denota por símbolos situados en los extremos de esta línea punteada. El círculo lleno indica una cara en el lado positivo de los ejes, mientras que el círculo vacío es una cara que está en el lado negativo de los ejes.



3A4 4A3 6A2 9mi

Figura 4. Proyección estereográfica octaedro. a) Estereogramas de elementos de simetría y b) ubicación de polos.

El alumno representa los elementos de simetría de la forma del octaedro, como se observa en la Figura 4, estereogramas o plano estereográfico (izquierda) y la ubicación de caras, que se denominan polos (derecha). Son ocho caras expresadas con los índices de Miller. Dichas caras interceptan a los tres ejes cristalográficos a la misma distancia.

4.3.2 Resultados obtenidos

Integra el estudio de la geometría y la simetría de los cristales a través del dibujo de proyección, tridimensional-plano, construye y visualiza estereogramas de todos los sistemas, realiza dibujos en perspectivas con referencia espacial a ejes cristalográficos y define la clase cristalina.

5 CONCLUSIONES

El estudio de la Cristalografía Geométrica, comprende saberes teóricos - prácticos del estado cristalino de los minerales. La metodología aplicada de enseñanza-aprendizaje se realiza en tres actividades correlacionadas en competencias del saber interpretar mediante la observación tridimensional y el saber hacer un dibujo plano de proyección.

Los modelos cristalográficos o réplicas idealizadas, son elementos claves construidos por el alumno/a, para el entendimiento de las relaciones geométricas y simétricas de la estructura cristalina, es un aprendizaje que se aprecia como sencillo, pero resulta muy complejo para el alumno/a. El análisis de las distintas notaciones y representaciones en dibujos de estereogramas, presentan los mayores conflictos cognoscitivos observados. Se prevé futuras mejoras, sujeto a modificaciones necesarias para la aplicación de la temática con el uso de tecnologías virtuales.

El método propuesto, con modelos abstractos tridimensionales, sobrelleva competencias del conocimiento, desarrolla actitudes, habilidades, optimiza la formación del alumno/a, con profundización de un tema determinado, y a pensar en tres dimensiones. Estos atributos es la base en asignaturas correlativas como las geológicas aplicadas, que en las tareas de campo están sujetas a la interpretación tridimensional y su representación en dibujos.

La estructura cristalina de los minerales, se dispone de átomos, iones y/o moléculas, que rige el comportamiento físico de propiedades intrínsecas, están en relación a la aplicación industrial y el beneficio de la sociedad, su estudio es una competencia altamente demandada en el medio laboral.

6 REFERENCIAS

- Cornelius K. *Manual de Mineralogía basado en la obra de J.D. Dana (4ª edición)*. Editorial Reverté. 2006.
- Weyl, H. *La simetría*. Princeton University Press. Ediciones de Promoción Cultural S.A. Barcelona. 1975.
- Nogués J.M *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, (4.2), 146-148 I.S.S.N.: 1132-9157. 1996.