HENARES, Rev. Geol., 2: 345-349 (1988)

LOS DIBUJOS PERIODICOS: UNA INTRODUCCION A LA CRISTALOGRAFIA

Teresa Mª Correig Blancher. Centre de Documentació i Experimentació de Ciències. Barcelona.

Joaquim Mª Nogués Carulla. Departament de Cristal.lografia i Mineralogia. UNIVERSITAT DE BARCELONA.

RESUMEN

Para un estudiante de Cristalografía uno de los mayores problemas es la comprensión espacial, es decir la correcta situación tanto de los elementos reales como de los ideales del cristal en el espacio y su adecuada interrelación.

Para ello se propone la realización de una serie de ejercicios con dibujos periódicos. En todos los casos supone trabajar desde un punto de vista bidimensional, para extender luego todos los conceptos fundamentales de la teoría reticular e introducir el concepto de simetría en el cristal.

ABSTRACT

The aim of this work is to provide a basic concepts in crystallografy for anybody meeting the subject for the first time.

We propose a set of exercises with periodical drawings. In all cases the students working in two dimensions, for to extend later the concepts in three dimensions.

With complement to the practice, we propose the study of a very simple crystal structures.

¿QUE ES UN CRISTAL?

Un cristal es una sustancia sólida, que puede ser de origen natural u obtendia artificialmente en el laboratorio. Los cristales poseen unas características propias que los distinguen, de cualquier otra sustancia sólida. La característica más destacada a primera vista, es su forma externa.

Los cristales normalmente constituidos presentan formas poliédricas con caras planas. Esto ya nos indica que cuando un cristal crece, no lo hace con la misma velocidad en todas las direcciones del espacio, ya que de ser así los cristales presentarían siempre forma esférica. Este comportamiento distinto en función de la dirección, es lo que llamamos ANISOTROPIA, y es carcterístico del cristal.

Si seguimos observando la forma cristalina, vemos como las caras se repiten un determinado número de veces, de acuerdo con unas reglas. Dichas repeticiones configuran el carácter SIMETRICO del cristal.

Tomemos ahora un cristal que posea buena exfoliación, por ejemplo un cristal de NaCl (halita). Dicho cristal presenta una forma cúbica y conforme se va exfoliando vamos obteniendo cada vez critales más pequeños y de la misma forma. Esto nos indica de algún modo una repetición o PERIODICIDAD en la estructura.

Finalmente, si nos fijamos en todos los critales obtenidos por exfoliación en el apartado anterior, vemos que presentan el mismo aspecto, y no se aprecian diferencias entre ellos, a excepción del tamaño. Por tanto vemos como en la distribución de los elementos que forman el cristal, existe en una primera aproximación una HOMOGENEIDAD.

EL CRISTAL BIDIMENSIONAL

Tomemos un dibujo repetitivo cualquiera, por ejemplo un papel para decorar las paredes , nos puede ser útil para introducir los conceptos básicos del cristal. Si nos fijamos en el dibujo reproducido en la FIGURA nº 1, vemos como aspecto que destaca un conjunto de elementos que se van repitiendo. Los elementos que se reptien son diversos, y podemos tomar uno cualquiera como punto de referencia.

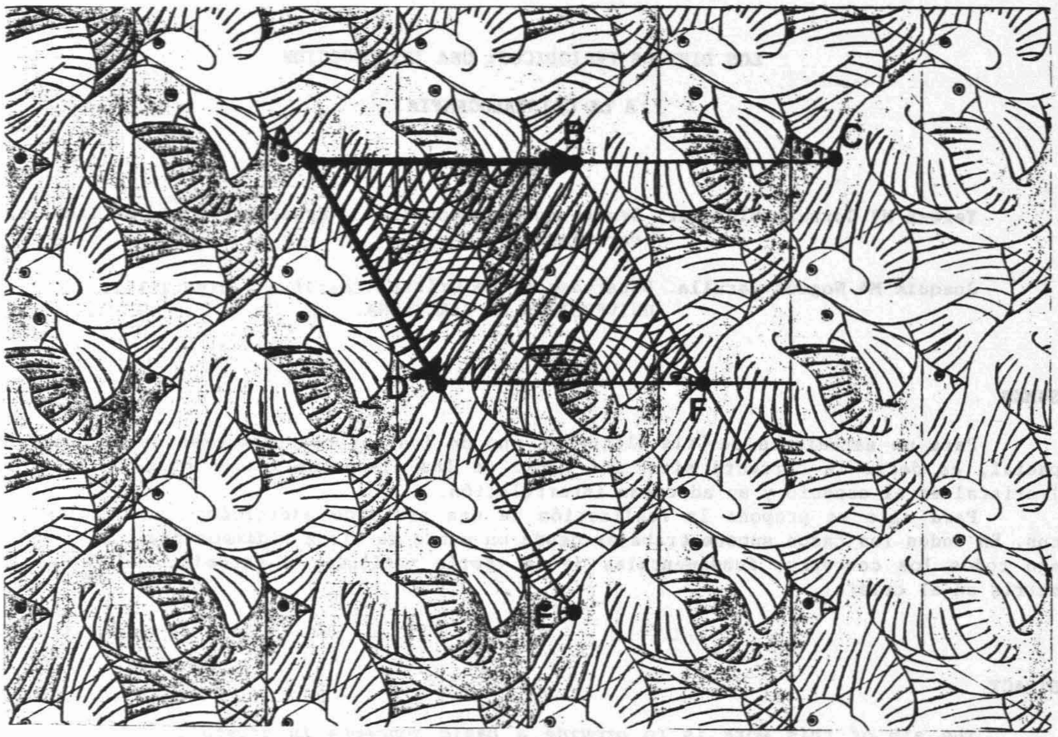

FIGURA 1.- Elementos básicos, repetitivos.

Coloquemos a continuación un papel vegetal superpuesto al dibujo, de esta manera podremos dibujar sobre el papel todos los símbolos que sean necesarios. Si definimos como punto origen, el extremo del pico del pájaro con cresta, allí situamos un círculo para indicar el punto de partida (punto A en la FIGURA nº 1). A continuación avanzamos hacia la derecha, y el siguiente punto idéntico al primero, es el punto B, y lo indicamos con otro círculo, el siguiente sería el C y así sucesivamente. Todos estos puntos de referencia A, B, C, etc. son puntos ideales, y los denominamos NUDO RETICULAR.

Entre dos nudos reticulares consecutivos, definimos un vector con un sentido (hacia la derecha) y de una determinada longitud (el módulo del vector). En esta dirección y sentido el VECTOR TRASLACION, nos origina una infinidad de nudos reticulares que nos definen la llamada FILA RETICULAR.

Si repetimos la operación en el sentido vertical del dibujo (FIGURA nº 1), obtenemos una segunda fila reticular A, D, E, etc.. Las dos filas reticulares y sus correspondientes paralelas nos definen un PLANO RETICULAR. Dentro del plano reticular tenemos una infinidad de nudos. Si nos fijamos en la superficie delimitada por los cuatro nudos reticulares A, B, D, F, vemos que posee una forma determinada (rectángulo, cuadrado, rombo, etc.), y que está definida por dos vectores de traslación AB y AD, los cuales les llamamos vectores de traslación fundamentales, y son los más pequeños.

El área delimitada por el polígono (la rayada en la FIGURA nº 1) la llamamos CELDA FUNDAMENTAL, y en este dibujo encontramos una infinidad. Si las colocamos todas juntas, encajan perfectamente sin dejar huecos, hemos llenado totalmente el espacio bidimensional. Dentro de la zona rayada de la celda fundamental, queda recortada una parte del dibujo, éste es el contenido de la celda fundamental (bidimensional en este caso).

Si todos estos elementos los hemos dibujado sobre el papel vegetal, ahora si levantamos el papel separamos los elementos ideales del cristal (nudo reticular, fila reticular, plano reticular y celda fundamental), del contenido real del cristal (lo que hay en el dibujo). De este modo visualizamos la dualidad de los elementos que constituyen el cristal, de una parte los ideales ó de referencia, que los utilizamos para estudiar y clasificar los diversos tipos de cristales. De otra parte tenemos los elementos reales del cristal, que en este caso es el dibujo en sí mismo, en la realidad serían los átomos, iones o moléculas.

LOS BIDIMENSIONALES O RETICULOS PLANOS

En el plano (definido por dos filas reticulares) podemos construir diferentes

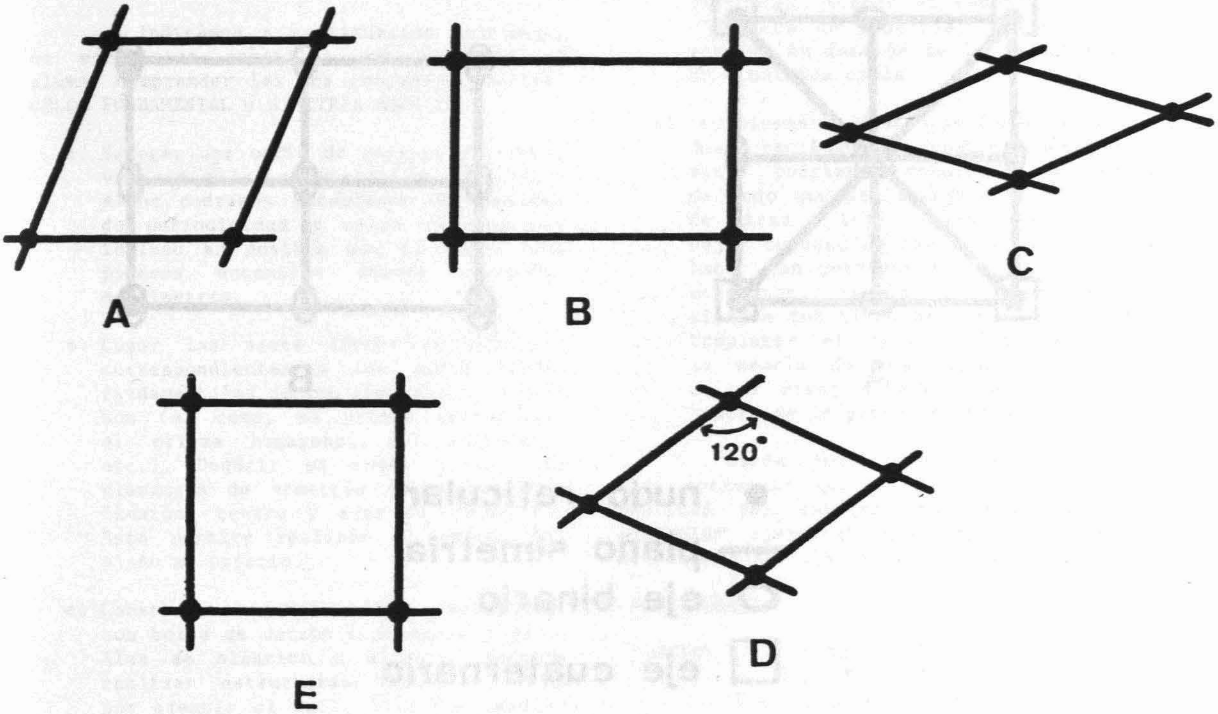

FIGURA 2.- Celdas fundamentales.

celdas fundamentales. Si lo hacemos, vemos como en realidad sólamente podemos construir cinco, que serán siempre la combinación de dos vectores (que pueden ser iguales o distintos entre sí) y del ángulo que forman estos dos vectores.

Las cinco posibilidades están representadas en la FIGURA nº 2, la A es la celda oblicua, la B es la celda rectangular, la C es la celda rectangular centrada, la D es la celda hexagonal y finalmente la E es la cuadrada. Si de cada una de estas celdas tenemos una infinidad, y las colocamos de modo que encajen, obtendremos en cada caso los retículos bidimensionales oblicuo, rectangular, hexagonal, etc..

Teniendo en cuenta la forma de la celda y la especial distribución de los nudos reticulares en el espacio, cada una de estas celdas posee una simetría determinada. Debemos tener en cuenta, que los nudos reticulares son sólamente puntos ideales de referencia, y por tanto sin ninguna forma concreta, por esto los representamos mediante esferas. Recordemos también, que antes al definir la celda fundametnal del retículo a partir de un dibujo (contenido del retículo), hemos trazado sobre el papel vegetal los vectores que definían la celda, y al separar el papel vegetal del dibujo, hemos obtenido la celda vacia.

Así pues, la simetría propia de la celda, es la que posee cuando está vacia, y viene definida únicamente por la posición de los nudos reticulares de un modo determinado. En la FIGURA nº 3, vemos dos celdas, la A cuadrada y la B rectangular y sus elementos de simetría están indicados con los símbolos correspondientes.

En la celda A cuadrada, los nudos se hallan situados en los vértices cuadrados y están relacionados por un eje de giro de orden cuatro perpendicular al dibujo (cada punto está a igual distancia del eje, y separados entre sí por giros consecutivos de 90º). Lo mismo podemos decir de los ejes binarios, que nos relacionan las posiciones de los nudos dos a dos, y están situados en medio de los lados. Finalmente vemos los planos de simetría, que nos dividen el cuadrado por las diagonales y por el punto medio de los lados. El número de planos es de cuatro y se cortan en el punto donde existe el eje cuaternario. En el caso de los binarios, sólamente hay dos planos: siempre tendremos tantos planos como orden indica el eje.

Debemos tener en cuenta, que aunque en el dibujo de la FIGURA nº 3, las celdas están aisladas, en la realidad forman parte de un conjunto de celdas que se repiten indefinidamente en el espácio, y por tanto en el momento de definir la simetría de

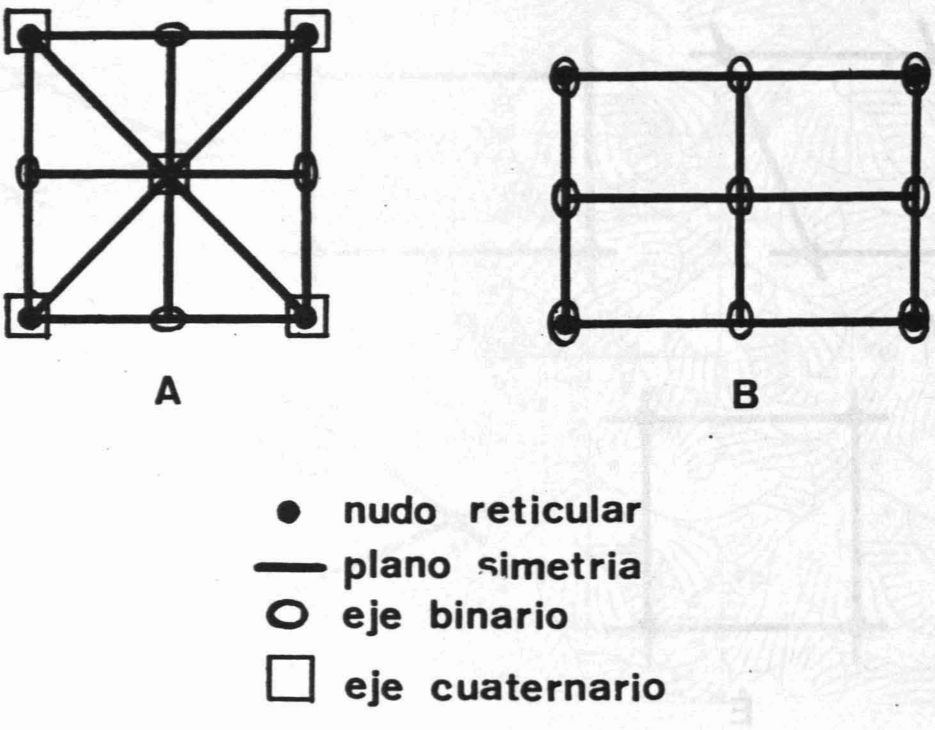

FIGURA 3.- Celdas fundamentales cuadrada y rectangular.

bemos tener presentes las celdas vecinas. Con todo ello tenemos la simetría de la celda vacia. Además debemos considerar también la simetría del contenido de la celda, que siempre ha de ser compatible con la del retículo.

Finalmente si nos fijamos en la FIGURA nº 4, vemos una distribución particu-

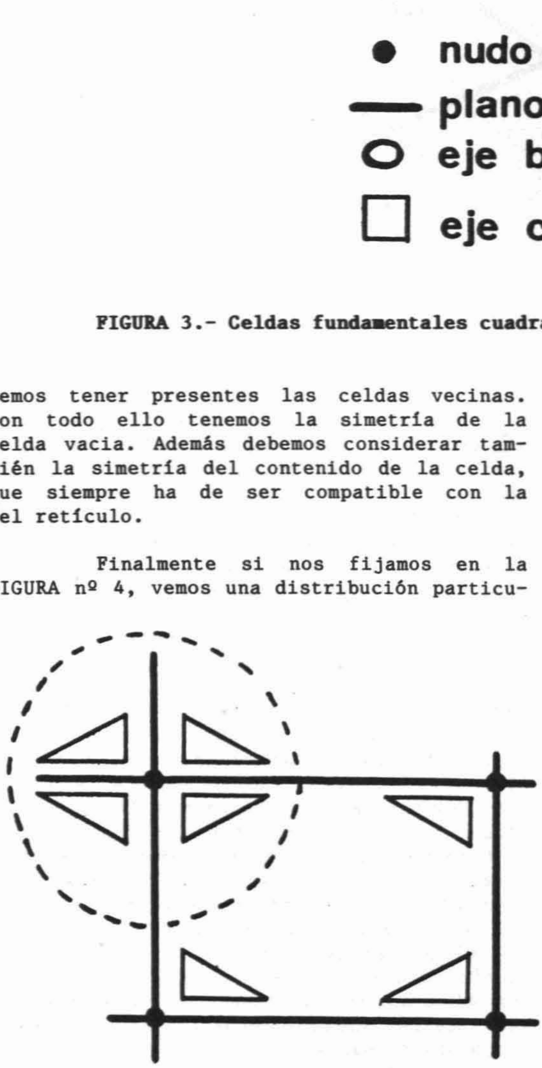

FIGURA 4.- Simetría espacial.

lar de un elemento (triángulo rectángulo), que por sí solo no posee ningún elemento de simetría, pero repetido en el espacio de un modo determinado nos origina una periodicidad y en consecuencia una determinada simetría. Al mismo tiempo podemos ver la relación entre la SIMETRIA PUNTUAL (triángulos alrededor de un punto, que es precisamente un nudo reticular) y la repetición de esta situación en todo el espacio (en este caso espacio bidimensional), que nos origina la celda rectangular. Vemos como todos y cada uno de los triángulos situados alrededor del nudo (los que están dentro del círculo), tienen su equivalente por una traslación en el interior de la celda rectangular, y con ello pasamos de la simetría puntual a la SIMETRIA ESPACIAL, que se caracteriza básicamente por la aparición de una nueva operación de simetría: la traslación.

Una vez definida la celda fundamental, por la repetición infinita en todo el espacio obtenemos el retículo, en el cual las celdas encajan sin dejar huecos. Dicho de otra manera, cuando se construyen los retículos, estamos viendo todas las posibilidades de llenar el espacio de la mejor manera posible.

Siguiendo un razonamiento similar, pero añadiendo la tercera dimesión, podemos deducir los 14 retículos tridimensionales o de Bravais.

SUGERENCIAS DE TIPO PRACTICO PARA LOS ALUMNOS

Indicamos a continuación una serie de ejercicios sencillos que permiten al alumno comprender los dos conceptos básicos: CELDA FUNDAMENTAL y SIMETRIA ASOCIADA.

a) Escoger una serie de papeles decorativos con dibujos repetitivos. En todos ellos podremos establecer el concepto de periodicidad y celda fundamental, incluso es posible que en algún caso podamos encontrar además elementos de simetría.

b) Coger las siete formas poliédricas, correspondientes a las siete celdas fundamentales de los sistemas cristalinos (el cubo, el prisma tetragonal, el prisma hexagonal, el romboedro, etc.). Deducir en todas ellas, los elementos de simetría (planos de reflexión, centro y ejes de rotación). Esto permite realizar el enlace del plano al espacio.

c) Construir algunas celdas sencillas, con bolas de corcho o porexpan y varillas de plástico o alambre. Podemos realizar estructuras sencillas, como por ejemplo el NaCl. Ello nos permite enlazar los elementos ideales del cristal, con el contenido real (átomos, iones o moléculas).

d) Coger las letras del alfabeto, escritas en mayúsculas. Ver los elementos de simetría propios de cada una de las letras, y luego las podemos agrupar en función de los elementos de simetría comunes. Por ejemplo la letra A tiene un plano de simetría vertical, la letra O, posee dos planos de simetría a 90º, etc.. Esto permite explicar el hecho de que cristales con formas distintas, tienen en común los mismos elementos de simetría, y los podemos agrupar en función de la característica simétrica común.

e) Con piezas de distintas formas (cuadrados, rectángulos, rombos, hexágonos, etc.) podríamos embaldosar el suelo de modo que utilizáramos un sólo tipo de pieza y todas ellas encajarán sin dejar huecos. En cambio si lo queremos hacer con pentágonos regulares o bien octógonos regulares, necesitaremos siempre dos tipos de piezas para poder completar el suelo. Ello implicaría la mezcla de dos tipos de retículo en un mismo espacio, lo cual va en contra de la periodicidad del cristal.

Estos ejemplos nos parecen adecuados para conseguir que el alumno comprenda la realidad del cristal. Es contraproducente cualquier ejercicio que implique aprender de memoria las clases cristalinas.

BIBLIOGRAFIA

* BRUNO, E. (1987). "Le miroir màgique de M.C. Escher". Medea Diffusion, S.A. Friburg (Suiza).

* MACGILLAVRY, C.H. (1965). "Symmetry aspects of M.C. Escher's periodic drawings". University of Amsterdam. Published for International Unio of Crystallography. Utrecht.

* WEYL, H. (1975). "La simetría". Princeton University Press. Ediciones de Promoción Cultural, S.A. Barcelona.

* WINDLE, A. (1977). "A first course in Crystallography". Bell and Sons, Ltd. Edinburgh.