

Morfología de los Cristales Gigantes de Yeso

/ JUAN MANUEL GARCÍA-RUIZ (1, *), ALEXANDER VAN DRIESSCHE (1), JOSE MANUEL DELGADO (1), ANGELS CANALS (2), MERCEDES OSSORIO (1)

(1) Laboratorio de Estudios Cristalográficos, Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, CSIC-Universidad de Granada, Granada, (España)

(2) Dpt. Cristalografía, Mineralogía i Dipòsits Minerals. Facultat de Geologia. Universitat de Barcelona. Barcelona, (España)

INTRODUCCIÓN.

En los últimos años se han descubierto una serie de nuevas localizaciones con presencia de cristales métricos o multimétricos de yeso selenítico de origen no evaporítico. A las localizaciones de la Cueva de las Espadas en Naica (Chihuahua, México) conocida desde 1910 (Foshag, 1927), se han sumado la de la Caverna de los Cristales en la mina de El Teniente, la de Pulpí (Almería, España, García-Guinea et al., 2002), la de Segóbriga (España, Bernardez Gómez y Guisado di Monti, 2007), y la de las Cueva de los Cristales, Ojo de la Reina y chimenea Lupita en la mina de Naica (Chihuahua, México, García-Ruiz et al., 2007). La baja densidad de nucleación y el tamaño de esos cristales sugieren -y en algunos casos ha sido comprobado (Van Driessche et al., 2011)- que los cristales han crecido a velocidades muy lentas en condiciones próximas al equilibrio, es decir a valores de sobresaturación bajos próximos a la saturación o concentración de equilibrio. Era de esperar por tanto que la morfología de crecimiento de esos cristales fuese muy próxima a la morfología estructural o de equilibrio. En esta comunicación mostramos que la morfología de los cristales gigantes de yeso se conserva en todas las localizaciones estudiadas por nosotros, pero que es muy distinta de la esperada morfología de equilibrio de los cristales.

MATERIALES Y MÉTODOS.

La morfología de los cristales fue estudiada a escala macroscópica con goniómetro de contacto y goniómetro de reflexión, ambos contruidos ad-hoc. La caracterización cuantitativa de los mecanismos de crecimiento cristalino se ha estudiado mediante microscopía óptica, microscopía de fuerza atómica,

interferometría con cambio de fase (PSI) de alta resolución y microscopía confocal con contraste de fase diferencial (LCM-DIM), cubriendo casi todo el espectro de escala relevante para observar el desarrollo morfológico de los cristales.

También se obtuvieron cristales de yeso en el laboratorio mediante reacción química o por evaporación de disoluciones saturadas a diferentes temperaturas. Los análisis teóricos y los modelos cristalográficos se crearon usando los programas informáticos comerciales Shape y Materials Studio.

MORFOLOGÍA DE LOS CRISTALES DE YESO.

El yeso cristaliza en la clase holoédrica o prismática del sistema monoclinico y se han reconocido y descrito hasta 30 formas cristalinas diferentes.

La estructura cristalina del yeso puede ser descrita como una estructura en capas formadas por grupos sulfatos paralelos a $\{010\}$ fuertemente enlazados a Ca y que están separadas por capas de moléculas de agua con enlaces débiles entre ellas, lo que explica que la forma cristalina más frecuente en el yeso sea el pinacoide lateral $\{010\}$, una cara tipo F que aparece siempre en los cristales y que es la cara de exfoliación que corre paralela a las capas de la estructura reticular. En muchos casos los cristales son pues tabulares sobre 010, con silueta tipo losange definida por el ángulo beta característico de la estructura de $113^\circ 50'$ y el prisma vertical o de tercer orden $\{120\}$ que también aparecen en la mayoría de las combinaciones de formas descritas y finalmente el prisma de cuarto orden positivo $\{-111\}$ y la cara (-103) descritas a veces y contorneada por el prisma de primer orden (011) .

MORFOLOGÍA DE LOS CRISTALES GIGANTES DE NAICA.

La Cueva de los Cristales Gigantes de Naica se encuentra localizada en el nivel -290 de la mina de Naica.



fig 1. Morfología tabular del yeso dibujada por inclusiones sólidas en un cristal selenítico de Segóbriga. Este cristal desarrolla las formas clásicas del yeso, $\{010\}$, $\{120\}$ y $\{-111\}$.

Desde el punto de vista morfológico, los cristales de la Cueva de los Cristales puede dividirse en dos grupos visualmente muy diferentes. Las paredes de la cueva y en particular el suelo están cubiertos de cristales equantes con forma de bloque casi equidimensional (véase Figura 2). En vez de presentar el característico hábito tabular de los cristales de yeso, éstos cristales tiene forma de bloques, mostrando un claro desarrollo de las formas $\{010\}$, aparente $\{120\}$, y $\{-111\}$, pero ciertamente un desarrollo muy peculiar. El pinacoide $\{010\}$ está menos desarrollado que en la morfología habitual de crecimiento del yeso. De hecho, se puede notar que mientras mayor sea el espesor de los cristales en la dirección normal a (010) más pequeña es la importancia de la forma $\{010\}$, que -recuérdese- es la cara de exfoliación paralela a la estructura en capas y además la cara F más importante del cristal. Por esta razón, los cristales gigantes, pierden su hábito tabular inicial convirtiéndose en cristales

equantes. En ocasiones, esos cristales se agrupan para formar agregados paralelos a al plano (010) que a veces se abren en abanicos. Otra característica singular de esos cristales es que las caras del prisma aparente {120} muestran superficies estriadas compuestas de segmentos de formas prismáticas de diferente ángulo separados por superficies aterrazadas de {010}. Así, las caras aparentes {120} son realmente caras {1k0} con $k = 2, 4$ o 6 , como se demostró mediante goniometría de reflexión láser y la microscopía electrónica de barrido (García-Ruiz et al, 2007).

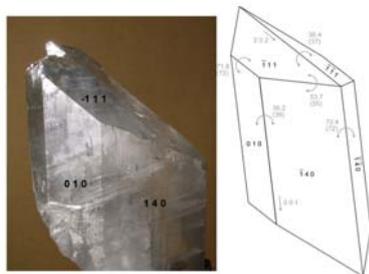


fig 2. Arriba: a) Cristal tipo "bloque" de yeso. El tamaño en la dirección vertical es de 12 cm. b) Croquis del cristal que muestra los índices de las caras, las direcciones de zonas principales (flechas) y los ángulos interfaciales principales. Abajo: monocristal tipo bloque de dimensiones métricas.

Frente a esos cristales achaparrados sobresalen los cristales alargados gigantes de selenita que a veces parecen crecer a partir de grupos de bloques pero que otras veces lo hacen directamente desde el suelo rocoso de la cueva. Algunos de esos cristales cruzan la cueva de lado a lado (Figura 3). Muchos de ellos tienen 6 metros de largo y algunos llegan a los 11 metros y en bastantes ocasiones tienen un espesor, normal a {010}, igual o superior a un metro. Por este motivo los mineros los llaman "vigas", un termino que describe muy bien la apariencia externa de esos cristales y que adoptamos nosotros para nombrarlos. La densidad, es decir, el número de vigas por unidad de volumen en la cueva es muy baja (Figura 3) lo que crea un escenario natural de incomparable belleza. Debido

a su espesor, las caras del pinacoide {010} de las vigas están muy poco desarrolladas y prácticamente desaparecen en la mayoría de los casos, quedando tan solo un relicto de apenas uno o dos centímetros que corre a lo largo de la dirección de elongación de las vigas que no es otra que la dirección c del cristal. Además del pinacoide {010} las vigas están definidas por enormes caras prismáticas {1k0} que lo abrazan, cuya superficie estriada está compuesta de escalones 1k0 y llanuras {010}, que sirve como superficie de nucleación sobre la que crecen nuevos cristales, a veces con perfecto alineamiento, o a veces con un ligero desajuste con la red del cristal base. Es decir, los cristales gigantes de yeso de Naica pueden ser definidos como cristales de tipo mosaico. Finalmente las dos formas tautozonales {010} y {1k0} están coronadas por el prisma {011} que junto con prisma {-111} son las formas que delimitan los extremos de las vigas.

La apariencia de esos dos tipos de cristales, bloques y vigas, es tan diferente que bien pudiera pensarse en la necesidad de encontrar para ellos dos ambientes físico-químicos distintos de nucleación. Sin embargo la explicación es más sencilla. Los bloques son monocristales de yeso en los que el pinacoide {010} es la única forma que crece mediante el mecanismo de nucleación bidimensional (Van Driessche et al., 2010). Ni el prisma {1k0} ni el prisma {-111} son caras de crecimiento sino que crecen a expensas de las contribuciones de la terrazas creadas por las monocapas y multicapas que nuclean sobre {010}. Así, aunque {010} sea una cara F, es la cara que más rápido crece de las tres que delimitan los bloques porque realmente es la única que crece.



fig 3. Las vigas de las Cueva de los Cristales en Naica.

A diferencia de los bloques, las vigas son maclas de contacto (100) en las que aparece la nueva forma {011}. Como en el caso de los bloques, ni la cara {1k0} ni

la {-111} son caras que crecen por mecanismo propio. Sin embargo, aquí la cara {011} si lo hace, lo que explica la elongación de los cristales a lo largo del eje c y el pequeño desarrollo de la cara {011} con respecto a {-111}. Los cristales en forma de cuchillo de la Cueva de las Espadas tienen morfologías idénticas que las vigas pero de tamaño más pequeño, explicando el mayor desarrollo del pinacoide {010}, mientras que las llamadas patas de cabra de la Cueva de las Espadas tiene la morfología equivalente a los bloques de la Cueva de los Cristales, pero a menor escala.

En esta comunicación describiremos en detalle esas singulares morfologías y explicaremos su origen basándonos en los mecanismos de crecimiento de las diferentes formas cristalinas y en experimentos de cinética y morfología de cristalización en el laboratorio. Compararemos las morfologías de Naica con las de otras localidades donde aparecieron cristales gigantes de yeso, adelantando que el resultado morfológico es convergente en los casos de Pulpí (donde se dan bloques y vigas) y en el de El Teniente, donde aparentemente sólo se encuentran vigas.

AGRADECIMIENTOS.

Este trabajo ha sido realizado dentro del proyecto "Factoría Española de Cristalización" del programa Consolider-Ingenio 2010 y del proyecto CGL2010-16882 del Ministerio de Ciencia y Innovación (MICINN).

REFERENCIAS.

Foshag, W., (1927): The selenite caves of Naica, Mexico: Am. Miner., **12**, 252-256.
 García-Guinea, J.; Morales, S.; Delgado, A.; Recio, C.; Calaforra, J.M. (2002): Formation of gigantic gypsum crystals: Geol. Soc. J., **159**, 347-350.
 Bernárdez Gómez, M.J.; Guisado di Monti, J.C. (2007): Las referencias al lapis specularis en la Historia Natural de Plinio El Viejo: Pallas, **75**, 49-57.
 García-Ruiz, J.; Villasuso, R.; Ayora, C.; Canals, A.; Otálora, F. (2007): Formation of natural gypsum megacrystals in Naica, Mexico: Geology, **35**, 327-330.
 Van Driessche, A.E.S., García-Ruiz, J.M., Tsukamoto, K., Patiño, L.D., Satoh, H. (2011): Ultra slow growth rates of giant gypsum crystals: PNAS, submitted.
 Van Driessche, A.E.S., García-Ruiz, Delgado-Lopez, J.M., Sasaki, G. (2010): In situ observation of step dynamics on gypsum crystals: Crystal Growth Des., **10**, 3909-3916.