

# MINERALOGÍA

## TEMA 26

### HALUROS, CARBONATOS, SULFATOS. OTROS GRUPOS ANIÓNICOS

#### ÍNDICE

26.1 Haluros

26.2 Carbonatos

26.3 Sulfatos

26.4 Otros grupos aniónicos:

Nitratos

Boratos

Fosfatos

Tungstatos

Arseniatos

Vanadatos

*Celina Marcano*

## 26.1 HALUROS

Esta clase se caracteriza porque los halógenos  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{F}^-$  y  $\text{Y}^-$  son grandes, con una sola carga negativa y se polarizan fácilmente.

Cuando se combinan con cationes grandes dan lugar a un empaquetamiento compacto y estructuras de alta simetría.

Ejemplos:

**HALITA** ( $\text{NaCl}$ )

- **Cristalografía**

Cristaliza en el sistema Cúbico, grupo espacial,  $Fm\bar{3}m$

$a = 5,64 \text{ \AA}$ ,  $Z = 4$

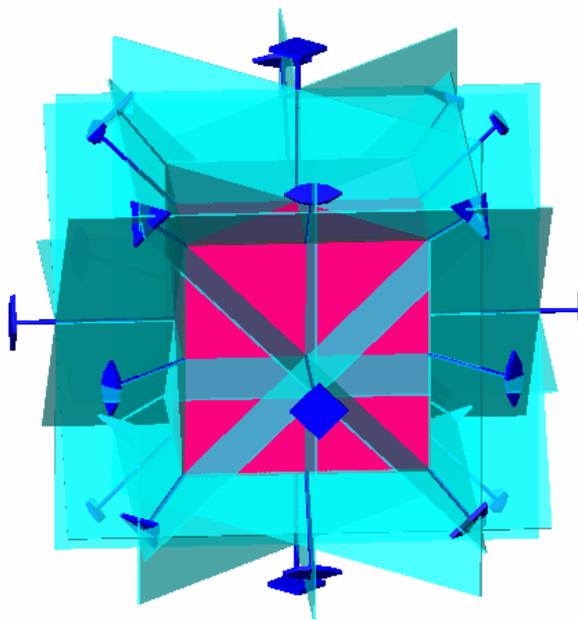
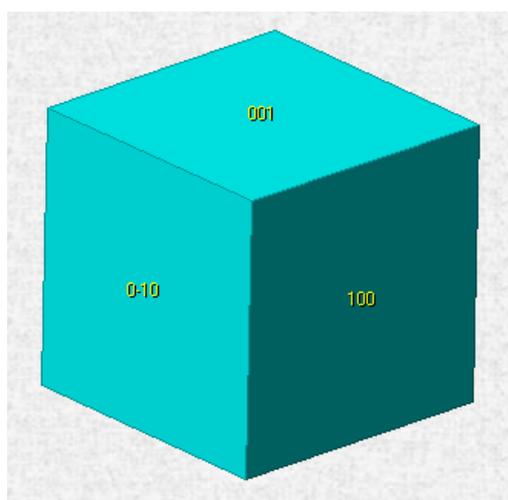


Figura 26.1.- Formas cristalinas (izquierda). Simetría (derecha).

- **Estructura cristalina**

Su estructura se caracteriza porque deriva del empaquetado cúbico compacto con las posiciones octaédricas ocupadas y en la que cada anión y cada catión está rodeado de 6 vecinos más próximos con coordinación octaédrica.

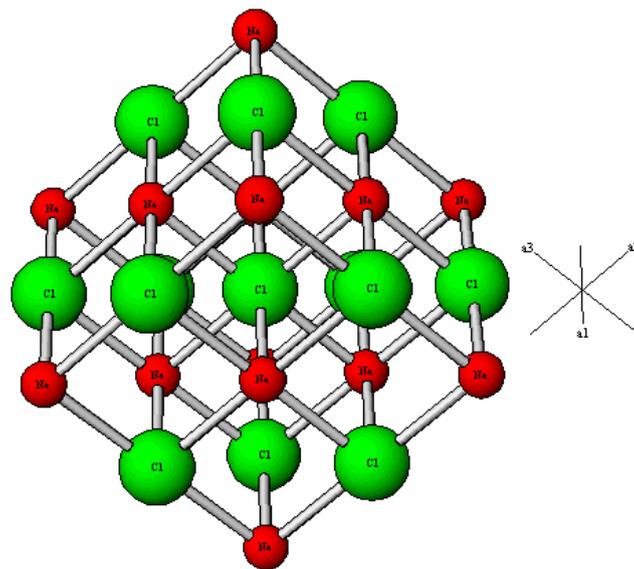


Figura 26.2.- Estructura cristalina de halita

- **Propiedades físicas**

**Color:** Blanco e incoloro, a veces azul o amarillo

**Raya:** Blanca

**Brillo:** Vítreo algo mate

**Dureza:** 2 a 2.5

**Peso específico:** 2.165

**Óptica:** Isótropo, con índice de refracción 1.544

- **Origen y Yacimientos**

Aparece como precipitado de aguas marinas en salinas, interestratificado con rocas sedimentarias de tipo evaporítico y como producto de sublimación en áreas volcánicas.

Es un mineral muy corriente que existe en grandes cantidades disuelta en el agua del mar y de algunos lagos, de las cuales se extrae por evaporación en balsas de poco fondo y mucha extensión, llamadas saladeras, en las salinas, entre las cuales merecen especial mención las de San Fernando (Cádiz), Torre Vieja (Alicante) y San Carlos de la Rápita (Tarragona).

La sal de manantial se produce preferentemente en afloramientos triásicos. Existen explotaciones intermitentes en Zaragoza, Huesca, Alava, Albacete, Córdoba, Cuenca, Guadalajara, Murcia, Jaén, Sevilla, Granada, Madrid, Valencia o Navarra tanto en materiales triásicos como terciarios.

Los yacimientos de sal gema más importantes son los de Polanco y Cabezón de la Sal (Cantabria), área de Remolinos - Torres de Berrellén (Zaragoza), Ubeda (Jaén) y Pirnoso (Alicante). También son importantes la sal gema obtenida de los depósitos de sales potásicas de Suria, Cardona, Sallent (Barcelona) y de El Perdón (Navarra).

Cabe destacar además también los yacimientos de Pradilla de Ebro y la halita de color intensamente blanco y en forma estalactítica de Bujaraloz.

En Cuenca se ha explotado la halita en el triás de Minglanilla, continuando la mineralización por La Pesquera y Enguidanos. La sal es tan pura en estos yacimientos que se la conoce bajo el nombre de "*Sal de espejo*", aunque a veces presenta cambios de coloración.

Son también importantes las salinas de San Carlos de la Rápita y Amposta (Tarragona), Cardoner y Cervelló, Olot y Santa María de Olot (Gerona).

De interés son los yacimientos que desde antiguo se explotan en La Olmeda e Imón (Guadalajara).

En Madrid cabe destacar el yacimiento de Espartinas y en Toledo los de Vilarrubia de Santiago.

En Murcia son importantes las salinas ubicadas en San Pedro del Pinatar, Mar Menor y Cabo de Palos y en Albacete Pinilla, Socoyos, Fuentealbilla, Balsa de Ves, Bogarra, Zacatín y Bienservida.

Los yacimientos de los alrededores de Villena (Alicante) se explotaban a principios de siglo por medio de cuevas. Existen salinas importantes en Paterna (Valencia) y en Ibiza y Formentera, en las Baleares.

Y en Arrecife, Puerto del Rosario y Antigua (Las Palmas).

Son interesantes las salinas de Cabo de Gata, Pulpi y Roquetas (Almería).

Es un mineral muy corriente que aparece por precipitación. existe en grandes cantidades disuelta en el agua del mar y de algunos lagos, de las cuales se extrae por evaporación en balsas de poco fondo y mucha extensión, llamadas saladeras, en las salinas, entre las cuales merecen especial mención las de San Fernando (Cádiz), Torrevieja (Alicante) y San Carlos de la Rápita (Tarragona). Son importantísimos los criaderos de Stassfurt y Spereberg en Alemania, los de Wieliczka y Kaluz en Galitzia. Uno de los más famosos del mundo es el de Cardona, en la provincia de Barcelona; son también importantes los de Minglanilla (Cuenca), Poza de la Sal y Cerezo del Río Tiron (Burgos), Cabezón de la Sal (Cantabria), Turones de Olmedo (Guadalajara), Medinaceli (Soria).

## **FLUORITA (CaF<sub>2</sub>)**

- **Cristalografía:**

Cristaliza en el sistema cúbico, grupo espacial,  $Fm\bar{3}m$

$a = 5,46 \text{ \AA}$ ,  $Z = 4$

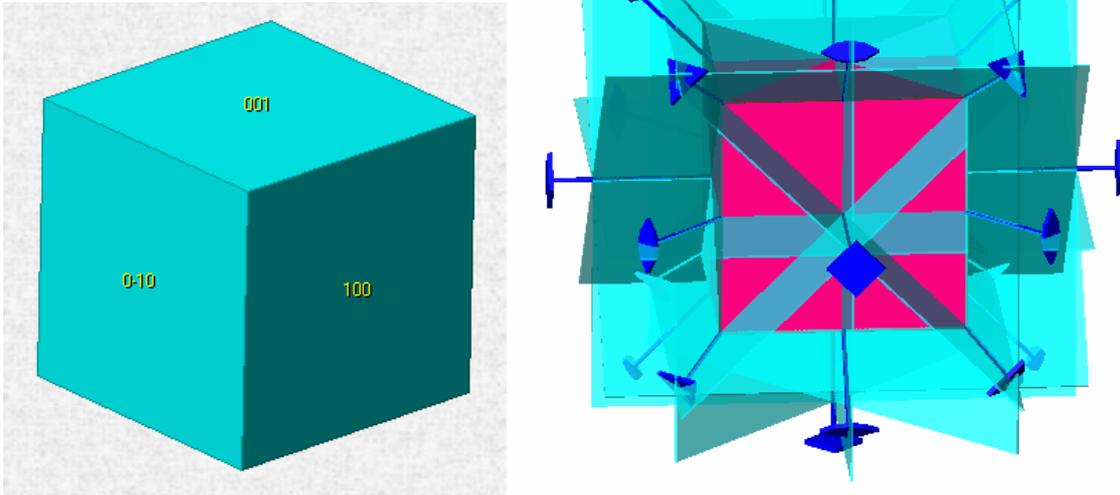


Figura 26.3.- Formas cristalinas (izquierda). Simetría (derecha).

- **Estructura cristalina**

Su estructura se caracteriza porque los iones  $\text{Ca}^{2+}$  forman un empaquetado cúbico compacto y los iones  $\text{F}^-$  ocupan todos los huecos tetraédricos.

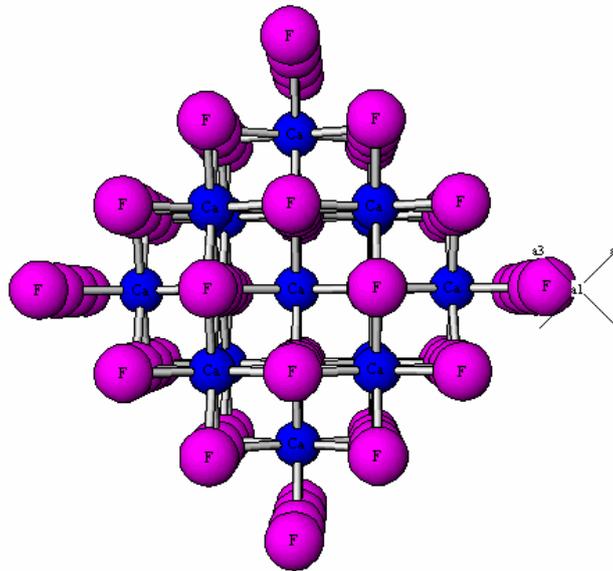


Figura 26.4.- Estructura cristalina de fluorita

- **Propiedades físicas:**

**Color:** Muy variado, siendo los más comunes el violáceo, el amarillo, y el verde.

**Raya:** Blanca

**Brillo:** Vítreo

**Dureza:** 4

**Peso específico:** 3,180



## 26.2 CARBONATOS

Incluyen minerales que tienen el grupo aniónico  $(\text{CO}_3)\text{O}^{2-}$ . Pueden ser anhidros e hidratados. Los carbonatos sin grupos (OH) agrupan un gran número de especies minerales que corresponden a los carbonatos de los metales divalentes. Es característico que los iones con radios menores que los de  $\text{Ca}^{2+}$  forman amplias series isomorfas de minerales que cristalizan en el sistema romboédrico ( $R\bar{3}c$ ), mientras que los iones con radios mayores que los de  $\text{Ca}^{2+}$  forman carbonatos del sistema rómbico. Otra característica de los carbonatos sin grupos (OH) es su tendencia a formar series isomorfas y soluciones sólidas.

Se pueden distinguir 3 grupos, en función del tipo de estructura:

<u>Grupo de la CALCITA</u>		<u>Grupo del ARAGONITO</u>		<u>Grupo de la DOLOMITA</u>	
CALCITA	$\text{CaCO}_3$	ARAGONITO	$\text{CaCO}_3$	DOLOMITA	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
MAGNESITA	$\text{MgCO}_3$	WITHERITA	$\text{BaCO}_3$	ANKERITA	$\text{CaCO}_3$
SIDERITA	$\text{FeCO}_3$	ESTRONCIANITA	$\text{SrCO}_3$		
RODOCROSITA	$\text{MnCO}_3$	CERUSITA	$\text{PbCO}_3$		
SMITHSONITA	$\text{ZnCO}_3$				

Carbonatos hidratados: MALAQUITA y AZURITA

Ejemplos:

### CALCITA

- **Cristalografía:**

Cristaliza en el sistema romboédrico, grupo espacial  $R\bar{3}c$

$a = 4,99 \text{ \AA}$ ,  $c = 17,06 \text{ \AA}$ ;  $Z = 2$

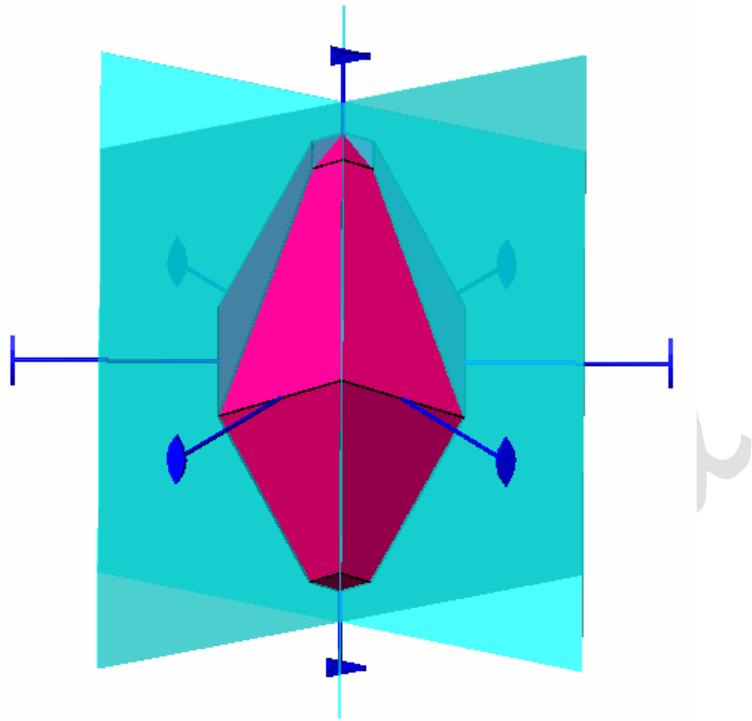
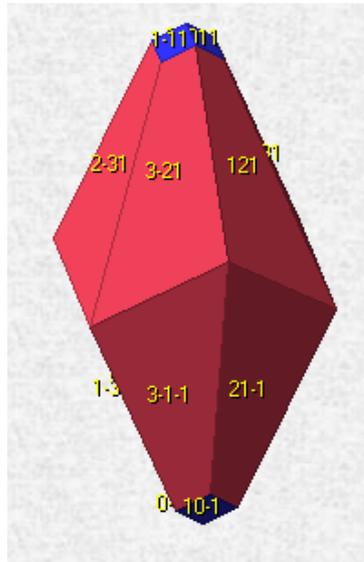


Figura 26.5.- Formas cristalinas (izquierda). Simetría (derecha).

- **Estructura cristalina:**

La estructura de la **calcita** se considera derivada de la del NaCl, con el  $\text{Ca}^{2+}$  reemplazando al  $\text{Cl}^-$  y el grupo aniónico en la posición del  $\text{Na}^+$ .

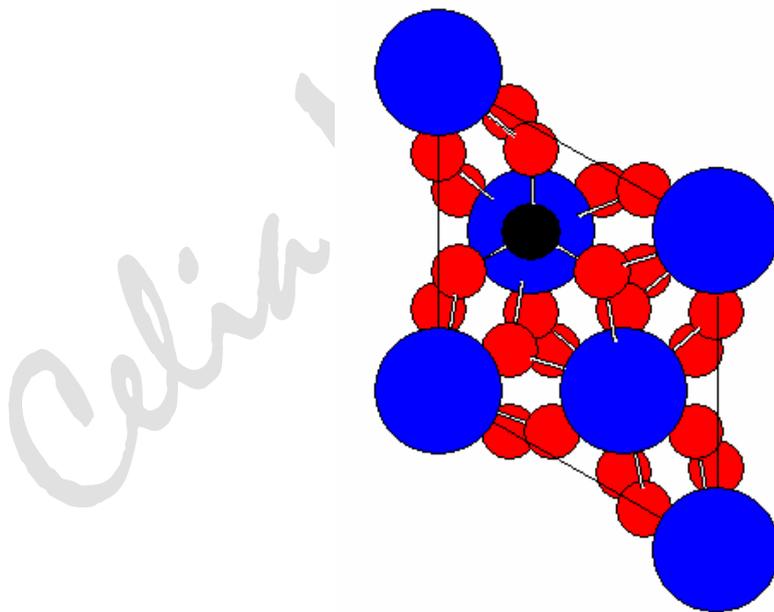


Figura 26.6.- Estructura cristalina de calcita

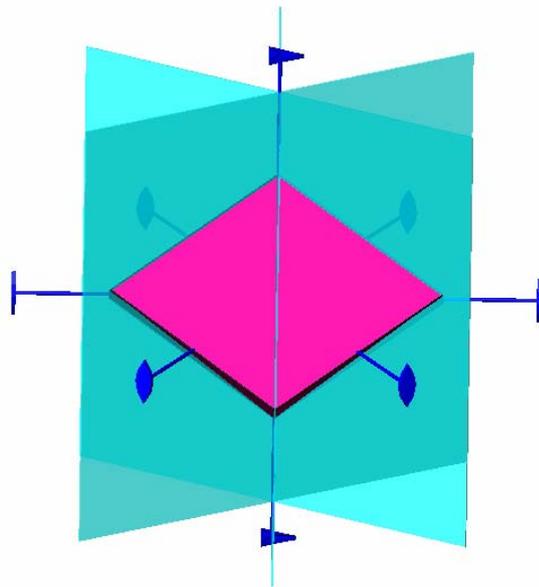
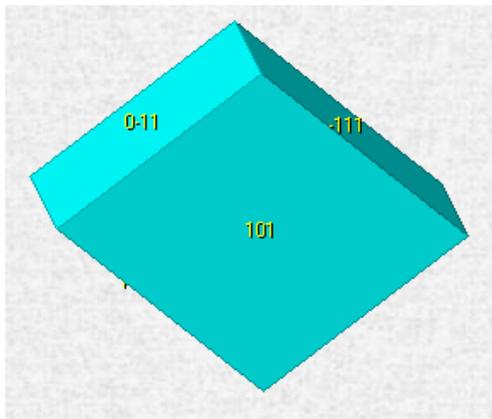


Figura 26.7.- Formas cristalinas (izquierda). Simetría (derecha). dolomita

- **Características químicas**

El  $\text{Ca}^{2+}$  en la calcita puede ser sustituido por el  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Mn}^{2+}$ , para dar por encima de  $550^\circ\text{C}$  una serie isomorfa completa: calcita, magnesita, siderita y rodocrosita.

Existe solución sólida completa entre magnesita y siderita.

La dolomita presenta amplia solución hacia la ankerita.

Entre calcita y siderita la sustitución es muy parcial ( $\sim 5\%$ ).

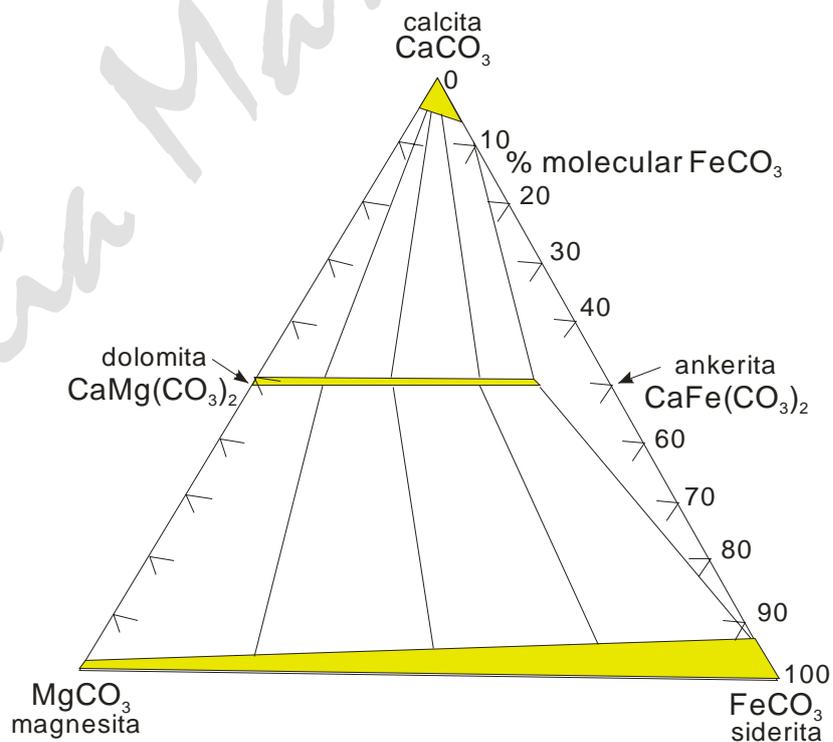


Figura 26.8.- Diagrama triangular de composición mostrando las soluciones sólidas de los carbonatos

A alta T existe un solvus entre calcita y dolomita que está fuertemente desviado hacia la dolomita.

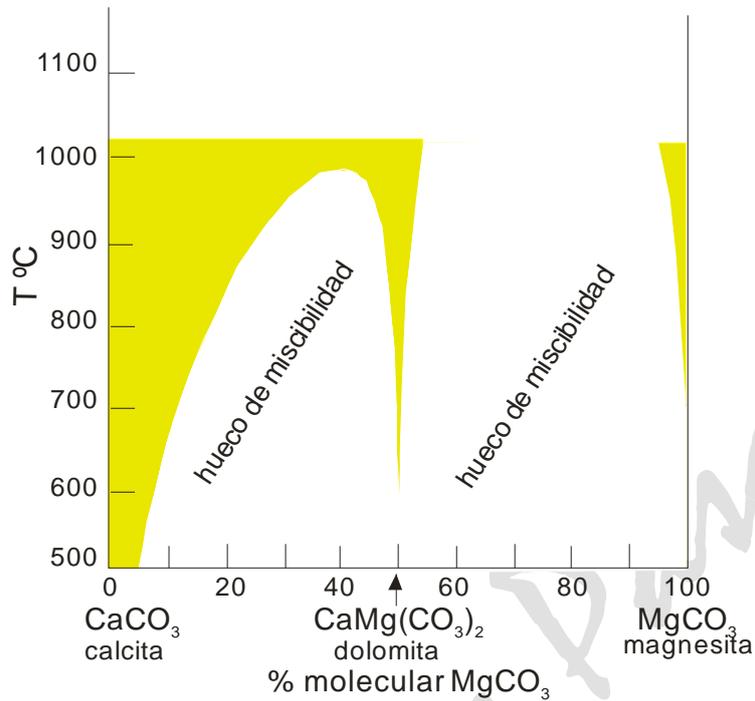


Figura 26.9 .- Diagrama composición-temperatura mostrando la miscibilidad de los carbonatos

El diagrama de fases calcita-aragonito, muestra que aragonito, con una estructura algo más densa que la calcita, es estable a presiones más elevadas que calcita.

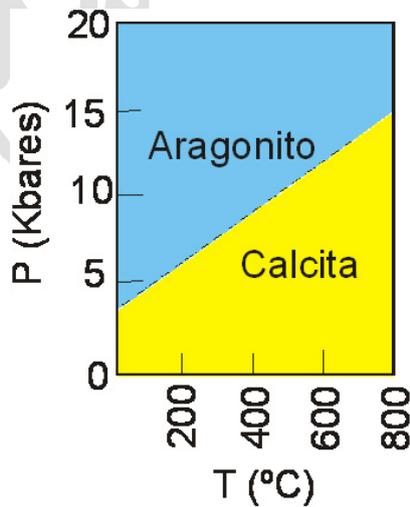


Figura 26.10.- Diagrama de fases calcita-aragonito

- **Propiedades físicas**

**Color:** Incolora transparente (Espato de Islandia) o blancas, también con coloraciones rojas, amarillentas, verdes, moradas, etc. cuando contiene alguna impureza.

**Raya:** Blanca

**Brillo:** Vítreo

**Dureza:** 3

**Peso específico:** 2,710

**Óptica:** Transparente. Uniáxica negativa. Muy birrefringente

- **Origen y Yacimientos**

El origen puede ser sedimentario en cuencas marinas y continentales; ortomagmático asociado con rocas alcalinas; hidrotermal asociado con fluorita y metamórfico formando mármoles.

Yacimientos importantes en España son los de Asturias y Cantabria que aparece con esfalerita y fluorita. En Linares y La Carolina (Jaén) aparece junto a la galena. En las proximidades de Madrid, se encuentran ejemplares con cristalitas muy brillantes y bien cristalizados. En Dima (Vizcaya) es famosa por su pureza.

## DOLOMITA

- **Cristalografía:**

Cristaliza en el sistema romboédrico, grupo espacial  $R\bar{3}$

$a = 4,84 \text{ \AA}$ ,  $c = 15,95 \text{ \AA}$ ;  $Z = 3$

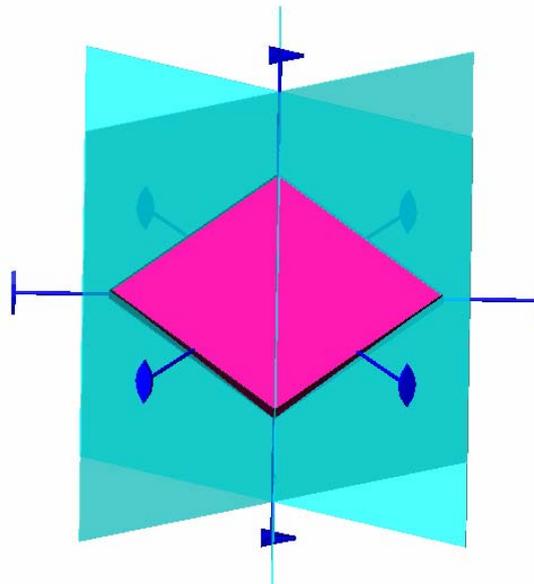
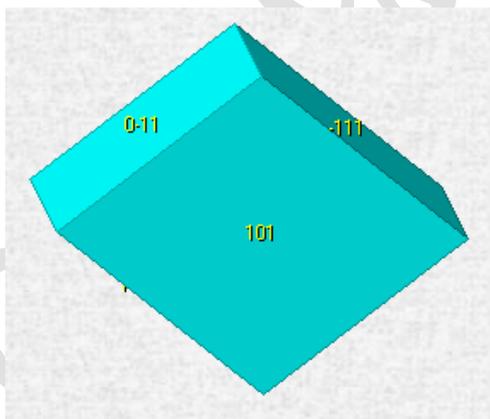


Figura 26.11.- Formas cristalinas (izquierda). Simetría (derecha).

- **Estructura cristalina:**

La estructura de la **dolomita** es similar a la de la calcita pero con capas de calcio y magnesio alternando a lo largo del eje cristalográfico  $c$ , Debido al orden catiónico producido por la gran diferencia en tamaño entre  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ .

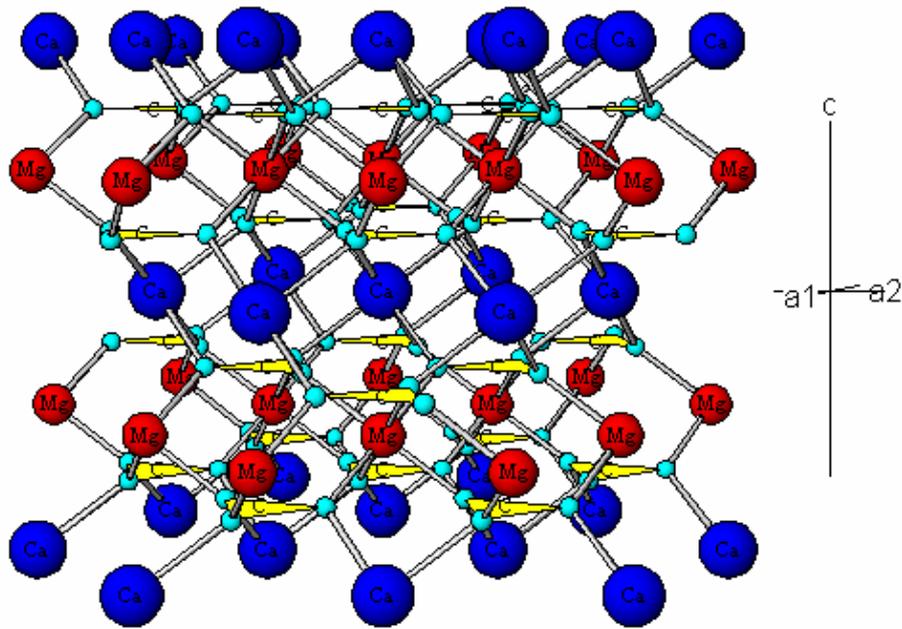


Figura 26.12.- Estructura cristalina de dolomita

- **Características químicas**

La sustitución del  $Mg^{2+}$  por  $Fe^{2+}$  es frecuente e ilimitada, es decir que existe solución sólida completa con ankerita ( $CaFe(CO_3)_2$ ).

- **Propiedades físicas**

**Color:** Blanco grisáceo

**Raya:** Blanca

**Brillo:** Vítreo algo perlado

**Dureza:** 3,5 a 4

**Peso específico:** 2,86 a 3,10

**Óptica:** Transparente. Uniáxica negativa. Muy birrefringente

- **Origen y Yacimientos:**

En cuencas sedimentarias marinas y continentales. Por metasomatismo magnésico de calizas. De origen hidrotermal.

En España aparece en: Los yacimientos de magnesita de Eugui (yacimientos de Asturreta) y en menor medida de Puerto de Velate (Navarra). En la Sierra de Gádor abunda una dolomita de color gris en bandas claras y oscuras que acompaña a las menas de plomo y que recibe el nombre de "*Franciscana*". En Almadén (Ciudad Real) como ganga de cinabrio. En Villaviciosa (Asturias) y Reocín y Peñacastillo (Cantabria) acompañando a la hemimorfita. En los yacimientos de magnesita de Incio (Lugo), Mallecina (Asturias) y Ojos Negros (Teruel). En Pancorbo (Burgos), Hiendelaencina (Guadalajara), Logrosán (Cáceres), Alcaracejo (Córdoba),

Morón (Sevilla), Cerro de las Tinajas (Cádiz), Barranco de Maro, Alhaurín de la Torre, Ojén y Coín (Málaga).

## ARAGONITO

- **Cristalografía:**

Cristaliza en el sistema rómbico, grupo espacial  $Pmcn$

$a = 4,96 \text{ \AA}$ ,  $b = 7,97 \text{ \AA}$ ,  $c = 5,74 \text{ \AA}$ ;  $Z = 4$

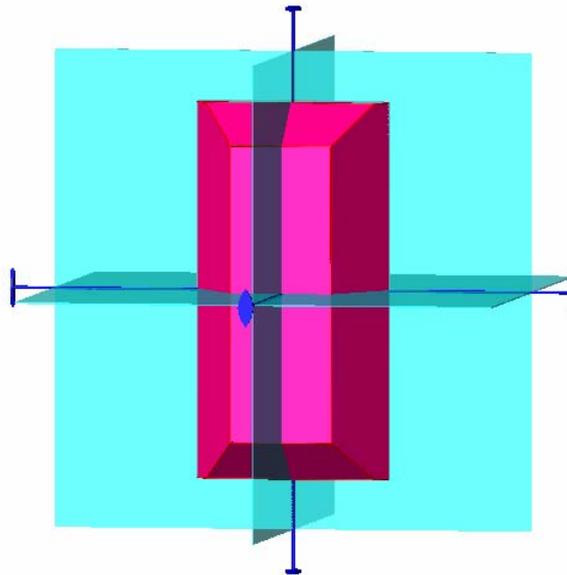
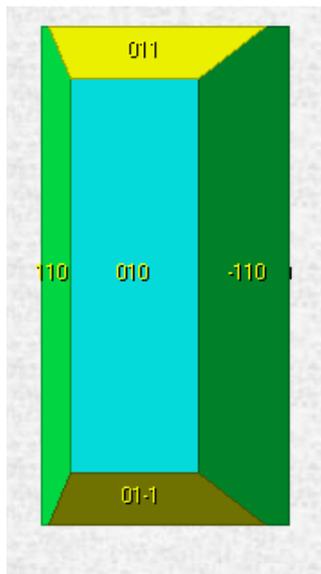


Figura 26.13.- Formas cristalinas (izquierda). Simetría (derecha).

- **Estructura cristalina:**

El grupo aniónico yace perpendicular al eje cristalográfico  $c$ , como en calcita, pero el  $\text{Ca}^{2+}$  tiene coordinación 9, a diferencia de ésta que es 6.

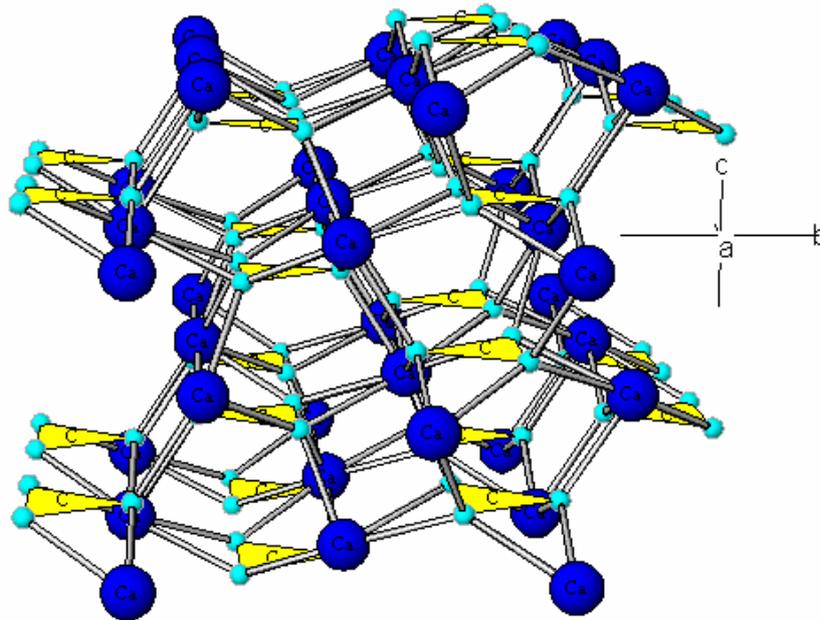


Figura 26.14.- Estructura cristalina de aragonito

- **Característica químicas:**

La mayor parte de los aragonitos son puros y muestran solución sólida a alta T sólo hacia calcita o magnesita.

La solución sólida es más limitada en los minerales con estructura tipo aragonito que en aquéllos con estructura tipo calcita o dolomita.

- **Propiedades físicas:**

**Color:** Blanco es el más frecuente. También violáceo, marrón, negro, azul o verde.

**Raya:** Blanca.

**Brillo:** Vítreo.

**Dureza:** 3,5 a 4

**Peso específico:** 2,94

**Óptica:** Transparente. Biáxico negativo

- **Origen y Yacimientos:**

El origen puede ser: hidrotermal de baja temperatura; se puede formar a partir de aguas termales o géiseres formando estalactitas en cuevas calcáreas; sedimentario en medios marinos o restringidos con yeso o celestina en margas o arcillas; puede aparecer en cavidades de rocas volcánicas junto con ceolitas especialmente en andesitas y basaltos; también en zonas oxidadas de yacimientos metálicos, junto a limonita, malaquita, calcita etc.; metamórfico; formando parte del esqueleto de muchos organismos (moluscos, cefalópodos, corales etc...)

Está muy extendido en España, destacando las localidades de Molina de Aragón, Luzón y Sigüenza (Guadalajara), Beteta y Minglanilla (Cuenca), donde existe una gran variedad de colores. En Zaragoza se encuentran asociaciones conocidas con el nombre de "*torrecicas*" en Monteverde, Nuévalos y Calatayud. Las formaciones cristalinas denominadas "*pedras de Santa Casilda*" se encuentran en Salgüero de Juarros y Montes de Ubierna (Burgos). Buenos ejemplares aparecen en Medinaceli (Soria) y Buñol y Játiva (Valencia), conocidos como "*pilaretas*".

Celina Marcos Pascual

## 26.3 SULFATOS

La unidad estructural es  $(\text{SO}_4)^{2-}$ . El grupo aniónico  $\text{SO}_4$ , caracterizado por la fuerte unión del oxígeno y el azufre, es la unidad fundamental de la estructura de los sulfatos. En los sulfatos el azufre se caracteriza porque los seis electrones de su capa externa pueden ser expulsados y originar el catión  $\text{S}^{6+}$ , de pequeño radio iónico y con carga y polarización fuertes. La relación de radios iónicos del  $\text{S}^{6+}$  y del oxígeno indica la estabilidad de la coordinación 4 para este grupo.

Los grupos más importantes son:

### SULFATOS ANHIDROS

#### Grupo de la BARITINA

Baritina	$\text{BaSO}_4$
Celestina	$\text{SrSO}_4$
Anglesita	$\text{PbSO}_4$
Anhidrita	$\text{CaSO}_4$

### SULFATOS HIDRATADOS

Yeso  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Ejemplo de sulfatos hidratados:

#### **BARITA**

- **Cristalografía:**

Cristaliza en el sistema romboédrico, grupo espacial  $Pnma$

$a = 8,87 \text{ \AA}$ ,  $b = 5,45 \text{ \AA}$ ,  $c = 7,14 \text{ \AA}$ ;  $Z = 4$

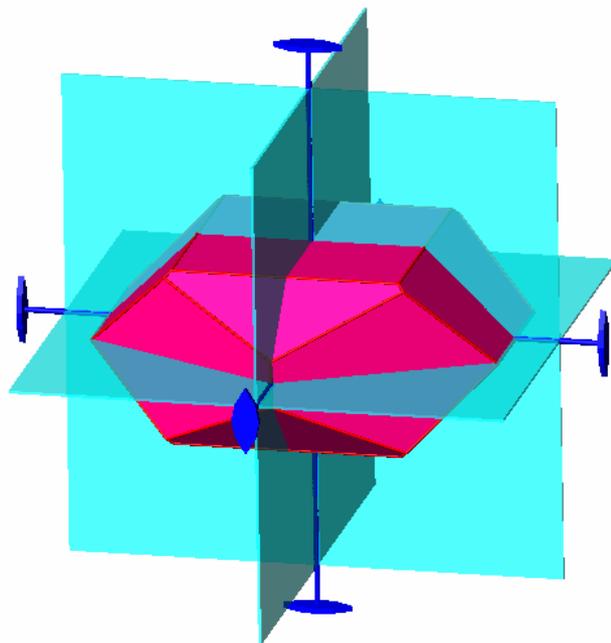
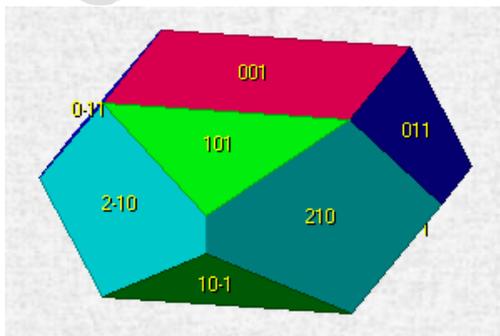


Figura 26.15.- Formas cristalinas (izquierda). Simetría (derecha).

- **Estructura cristalina:**

Se caracteriza porque cada ión  $Ba^{2+}$  está coordinado con 12 oxígenos pertenecientes a 7 grupos ( $SO_4$ ) diferentes.

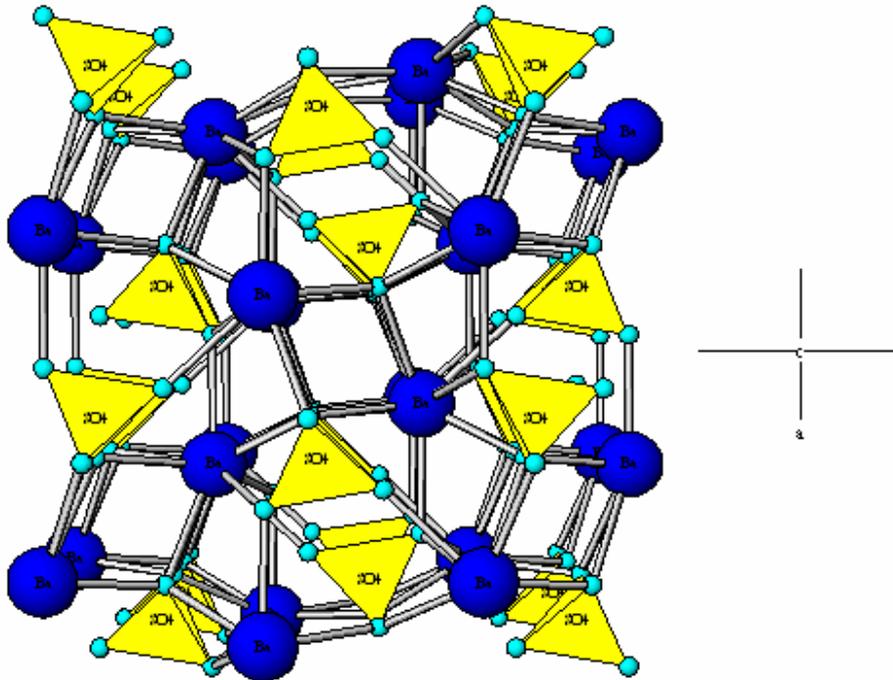


Figura 26.16.- Estructura cristalina de barita

- **Características químicas**

Forma solución sólida completa hacia la celestina ya que el  $Ba^{2+}$  es sustituido por  $S^{2+}$ , aunque la mayoría de las especies son próximas a uno u otro de los extremos. También puede ser sustituido por una pequeña cantidad de  $Pb^{2+}$ .

- **Propiedades físicas**

**Color:** Variable, aunque predomina el blanco y el pardo claro

**Raya:** Blanca

**Brillo:** Vítreo a perlado

**Dureza:** 3 a 3,5

**Peso específico:** 4,50

**Óptica:** Transparente. Biáxico positivo, relieve moderado y líneas de exfoliación marcadas

- **Origen y Yacimientos**

Hidrotermal, ganga de muchas menas metálicas, especialmente de Pb. También como cemento de muchas areniscas.

Es muy abundante en España. Aparece en En las localidades de Ancles, Palafrugell, Caldas de Malavella (Gerona), así como en Vimbodí y Bellmunt (Tarragona). En los Picos de Europa con la esfalerita. En Almadén (Ciudad Real) con cinabrio. En Hiendelaencina, Congostrina y La Bodega (Guadalajara), en Colmenar Viejo (Madrid), Barbadillo de Herreros (Burgos), Burón (León) y Canales de la Sierra (La Rioja). En Bilbao y Ceraín (Guipúzcoa), como agregados cristalinos. En las Sierras de Gádor y Almagrera en Almería, como rosetas. En Agost (Alicante), Artana (Castellón) y Alnogia (Málaga). También en Garlitos, Magacela, La Haba, Zarza de Alange, Azuaga, Valencia de las Torres, San Pedro de Merida, Villagarcia de la Torre y Berlanga (Badajoz). En Tobed (Zaragoza), existen dos grandes explotaciones Mina Alfonso y Coto Elsa. También son importantes los depósitos de Sierra de Herrera, en la misma provincia. En Linares, La Carolina y Bailén (Jaén) y en todo el plutón de los Pedroches, especialmente en Espiel (Córdoba), donde existe la mina San Guillermin.

Ejemplo de sulfatos anhidros:

### YESO

- **Cristalografía:**

Cristaliza en el sistema monoclinico, grupo espacial  $C2/c$

$a = 6,28 \text{ \AA}$ ,  $b = 15,15 \text{ \AA}$ ,  $c = 5,67 \text{ \AA}$ ;  $\beta = 114^\circ 12'$ ;  $Z = 4$

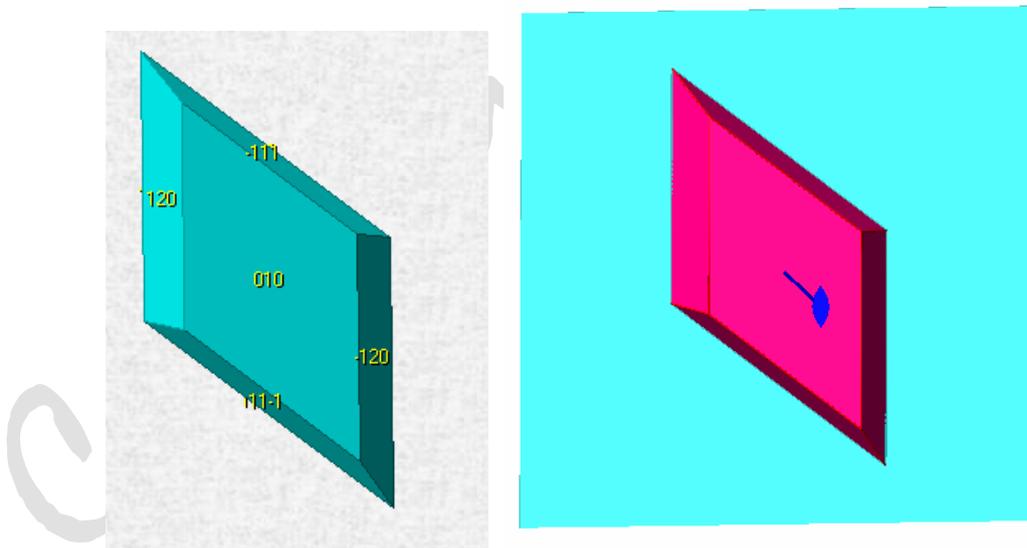


Figura 26.17.- Formas cristalinas (izquierda). Simetría (derecha).

- **Estructura cristalina:**

Su estructura consiste de capas paralelas a  $\{010\}$  de grupos  $(SO_4)^{2-}$  fuertemente enlazados al  $Ca^{2+}$ . Capas sucesivas de este tipo están separadas por hojas de moléculas de  $H_2O$ . Los enlaces

entre las moléculas de agua de hojas vecinas son muy débiles, lo que explica la buena exfoliación {010} que muestra el yeso.

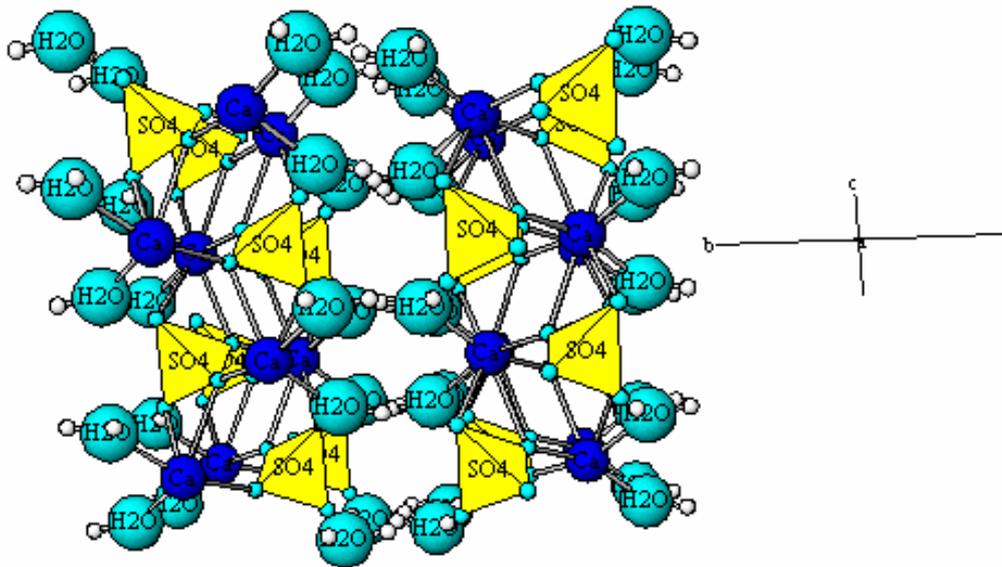


Figura 26.18.- Estructura cristalina de yeso

- **Características químicas**

Se forman varias fases como resultado de la deshidratación del yeso. Cuando la deshidratación es total, a 95 °C, se forma el polimorfo anhidro del yeso, la anhidrita.

- **Propiedades físicas**

**Color:** Incoloro, blanco, gris; diversas tonalidades de amarillo a rojo castaño por causa de impurezas. **Raya:** Blanca

**Brillo:** Vítreo y sedoso en los cristales. Nacarado en superficies de exfoliación.

**Dureza:** 2

**Peso específico:** 2,32

**Óptica:** Transparente a translúcido. Biáxico positivo con débil birrefringencia

- **Origen y Yacimientos**

Tiene origen sedimentario en conexión con rocas calcáreas y arcillas, principalmente. Depósitos evaporíticos asociados a antiguos mares o lagos salados. Como producto de hidratación de la anhidrita. Por la acción del ácido sulfúrico procedente de las piritas al actuar sobre la calcita de margas y arcillas calcáreas. Por acción fumarólica de aguas sulfurosas ya sea sobre calizas, ya sea sobre tobas volcánicas.

Es muy abundante en España: En Burgos, fibroso en Pancorbo, sacaroideo en Cerezo de Riotirón y espejuelo y maclado en Villarmero y Gayangos. En el cerro del Cristo del Otero (Palencia). En las canteras de Ezcaray y Arnedillo (La Rioja). En Sepúlveda (Segovia). En

Molina de Aragón (Guadalajara) y Minglanilla (Cuenca). En Jadraque (Guadalajara), Torrelaguna (Madrid) y Huete (Cuenca) aparece yeso fibroso. En Vallecas y en toda la cuenca del Jarama (Madrid) aparecen masas espáticas algo amarillentas. Rosas de cristales en Villalbilla (Madrid). En la Isla de León (Cádiz), Montilla y Aguilar (Córdoba), en Benamaurel, Baza y en la depresión de Granada, en Frailes (Jaén) aparece la variedad conocida como *selenita*. En las Sierras de Cartagena y Mazarrón (Murcia) aparecen cristales aciculares muy transparentes.

En Valencia aparece yeso de color rojo. En Aragón destacan Calatayud y Fuentes del Jiloca (Zaragoza), Barbastro y Tamarite de Litera (Huesca) y con colores pardos o anaranjados en el Barranco del Salobral y en la Ginebrosa (Teruel). En San Juan de las Abadesas, Serriña, Ripoll (Gerona), Igualada, Martorell, Pontils y Calaf (Barcelona). En Baleares destacan Artá y Selva. En Orduña (Vizcaya), Sastibeban y Estella (Navarra), Orejo, Cabezón de la Sal y San Vicente de la Barquera (Cantabria). En Colunga (Asturias).

Celina Marcos P. W. N. S. A.

## 26.4 OTROS GRUPOS ANIÓNICOS

### CROMATOS

Se caracterizan porque la unidad estructural fundamental es el grupo tetraédrico  $\text{CrO}_4$  y forma estructuras similares a las de los sulfatos.

### FOSFATOS, ARSENIATOS, VANADATOS

El fósforo (P) pentavalente tiene un tamaño ligeramente superior al S y forma un grupo aniónico tetraédrico con el oxígeno,  $(\text{PO}_4)^{3-}$ . Todos los fosfatos contienen este grupo aniónico como unidad estructural fundamental.

El arsénico y el vanadio son pentavalentes y forman unidades similares  $(\text{AsO}_4)^{3-}$  y  $(\text{VO}_4)^{3-}$  a los fosfatos.

El fósforo, vanadio y arsénico pueden sustituirse mutuamente.

Ejemplo:

### APATITO

- **Cristalografía:**

Cristaliza en el sistema hexagonal, grupo espacial  $P6_3/m$

$a = 9,39 \text{ \AA}$ ,  $c = 6,89 \text{ \AA}$ ;  $Z = 2$

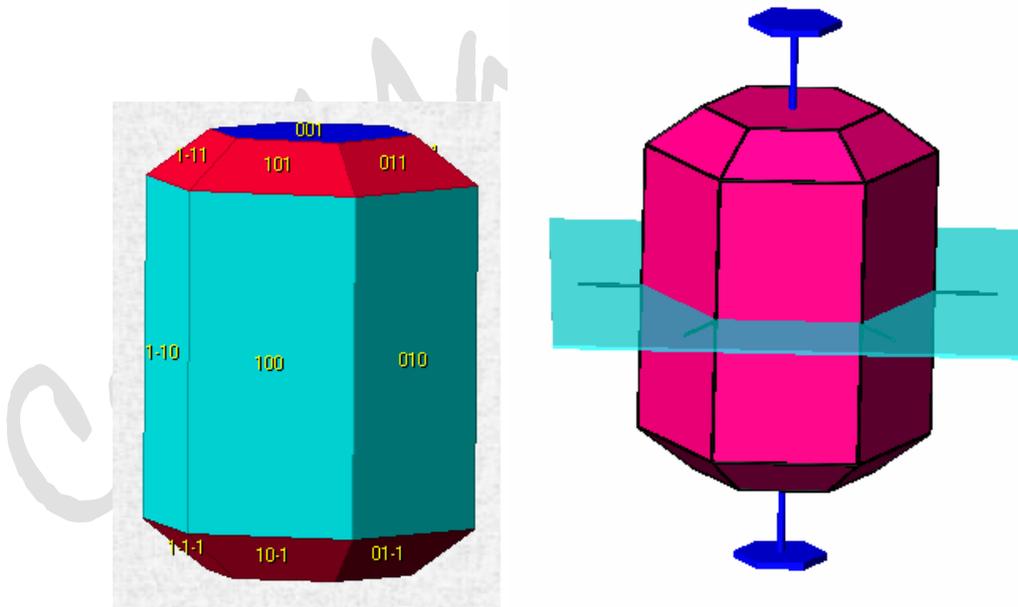


Figura 26.19.- Formas cristalinas (izquierda). Simetría (derecha).

- **Estructura cristalina:**

El calcio ocupa dos posiciones diferentes en la estructura cristalina, en una está coordinado a 9 oxígenos formando un poliedro irregular y en la otra posición tiene coordinación 8. El flúor tiene coordinación triangular plana con el oxígeno.

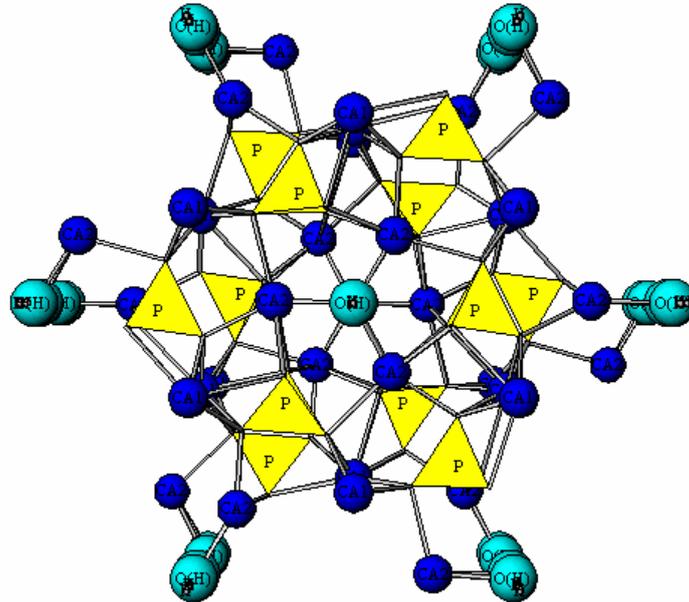


Figura 26.20.- Estructura cristalina de apatito

- **Características químicas**

Forma soluciones sólidas extensas, respecto a los aniones y cationes. El  $F^-$  puede ser reemplazado por  $(OH)^-$  o  $Cl^-$  produciendo hidroxiapatito ( $Ca_5(PO_4)_3(OH)$ ) o cloroapatito ( $Ca_5(PO_4)_3Cl$ )

- **Propiedades físicas**

**Color:** Incolora transparente (Espato de Islandia) o blancas, también con coloraciones rojas, amarillentas, verdes, moradas, etc. cuando contiene alguna impureza.

**Raya:** Blanca

**Brillo:** Vítreo a céreo

**Dureza:** 5

**Peso específico:** 3,2

**Óptica:** Transparente a traslúcido. Uniáxico negativo. Birrefringencia muy baja. Fosforescente.

- **Origen y Yacimientos**

Ortomagmático como mineral accesorio de la mayoría de las rocas ígneas. Pegmatítico. Asociado a rocas metamórficas. Por reemplazamiento metasomático de calizas y dolomías por soluciones descendentes (*fosforitas*). Sedimentario por mecanismos bioquímicos en aguas marinas (*fosforitas*). Sedimentario en placeres.

En España los apatitos más famosos proceden de la localidad de Jumilla (Murcia) y se conocen bajo el nombre de *esparraguina*, son cristales prismáticos, bien formados de hasta 3 cm, de color amarillo y muy transparentes. También se encuentra esta variedad en Vera y en la sierra de Alhamilla (Almería) en ocasiones con cristales aún mayores que los de Jumilla. En San Román y Perezuela (Zaragoza) en los filones cuarzosos. En la serranía de Ronda (Málaga), en Belmez (Córdoba), Puebla de los Infantes (Sevilla) y en La Palma del Condado (Huelva). En Mazarrón (Murcia). En las *fosforitas* de Logrosán Zarza La Mayor, Cedavín, Malpartida, Trujillo y Montánchez (Cáceres). En las pegmatitas del Coto Carbonell en Fuenteovejuna (Córdoba) aparece la variedad con flúor (*fluoroapatito*).

## NITRATOS

La estructura es similar a la de los carbonatos, pues tienen el grupo aniónico  $(\text{NO}_3)^-$ , cuya fuerza de enlace es muy fuerte.

Dentro de este grupo destacan la NITRATINA (nitrato de Chile)  $(\text{NaNO}_3)$ , isoestructural con la calcita y el NITRO (salitre)  $(\text{KNO}_3)$ , isoestructural con el aragonito.

La nitratina tiene un polimorfo rómbico, que es isoestructural con el nitro.

## TUNGSTATOS Y MOLIBDATOS

Los iones  $\text{W}^{6+}$  y  $\text{Mo}^{6+}$  son considerablemente más grandes que  $\text{S}^{6+}$  y  $\text{P}^{5+}$ . Por ello, cuando estos iones entran en los grupos anisodésimicos con oxígeno, los cuatro iones de oxígeno no se colocan en los vértices de un tetraedro regular (como en el caso de los sulfatos y fosfatos), sino forman unos grupos ligeramente elongados en la dirección del eje c.

Los igualdad de los radios iónicos de  $\text{W}^{6+}$  y  $\text{Mo}^{6+}$  permite la sustitución ilimitada de uno a otro en las estructuras cristalinas de estos minerales. Pero, en la naturaleza, los procesos de diferenciación geoquímica, a menudo, separan estos dos elementos, así que los wolframatos y molibdatos puros (sin mezclas del componente contrario) no son raros en la naturaleza. En los minerales secundarios, estos dos elementos suelen formar soluciones sólidas de minerales.

Los minerales de esta clase pertenecen básicamente a dos grupos isoestructurales.

El grupo de la **wolframita**  $(\text{Fe,Mn})\text{WO}_4$  contiene minerales con cationes bivalentes relativamente pequeños, tales como Fe, Mn, Mg, Ni y Co. La solución sólida completa existe entre minerales de Fe y de Mn de este grupo.

El grupo de la **scheelita**  $(\text{CaWO}_4)$  contiene los minerales con los cationes mayores, tales como Ca y Pb en coordinación 8 con los grupos  $\text{WO}_4$  y  $\text{MoO}_4$ . La estructura de scheelita se representada a continuación.

Ejemplos:

### WOLFRAMITA

- **Cristalografía:**

Cristaliza en el sistema monoclinico, grupo espacial  $P2_1/c$

$a = 4.78 \text{ \AA}$ ,  $b = 5.73$ ,  $c = 4.98 \text{ \AA}$ ,  $\beta = 90^\circ 35'$ ;  $Z = 2$

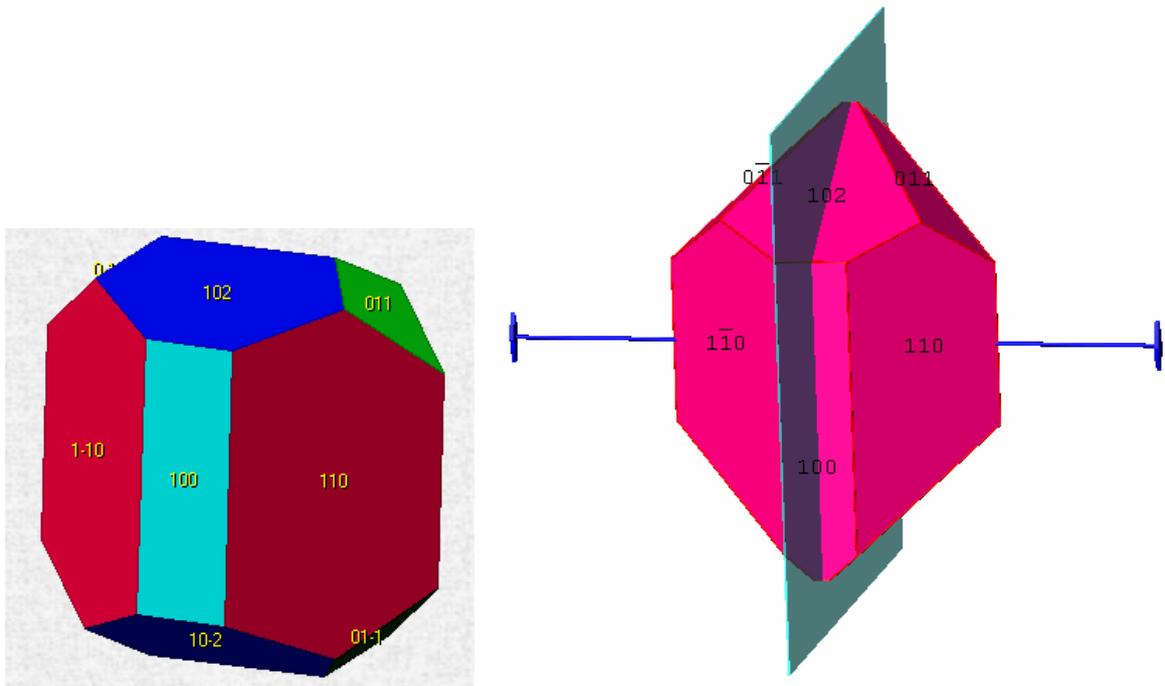


Figura 26.21.- Formas cristalinas (izquierda) y simetría (derecha)

- **Estructura cristalina:**

Consiste de grupos tetraedros de  $MnO_4$  distorsionados y octaédricos  $MnO_6$ .

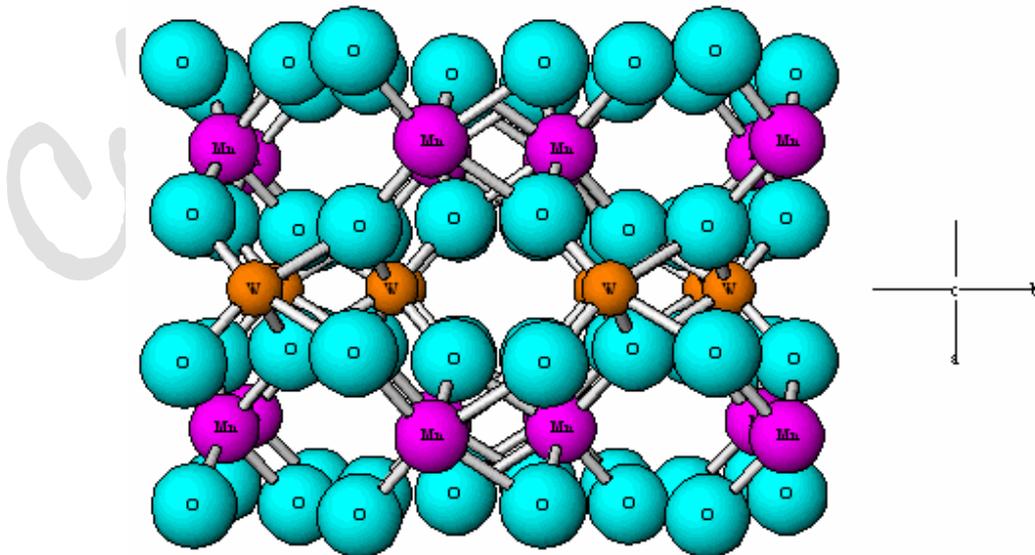


Figura 26.22.- Estructura cristalina de hübnerita

- **Características químicas:** Forma parte de la serie isomorfa entre la **ferberita**  $\text{FeWO}_4$  y la **hubnerita**  $\text{MnWO}_4$ .

- **Propiedades físicas:**

**Color:** Negro

**Raya:** Negra parduzca

**Brillo:** Metálico o resinoso

**Dureza:** 4 a 4,5

**Densidad:** 7 a 7,5

**Óptica:** Opaco. De color gris y de difícil pulido, reflexiones internas rojizas pardas.

- **Origen y Yacimientos:**

Pegmatítico. Neumatolítico. De impregnación y contacto. Hidrotermal. Sedimentario en placeres.

En España se encuentra en los filones cuarcífero del granito en Ribadavia en Santiago de Carbajosa, Penouta, Puebla de Caraniñal, San Finx de Noya, Silleda en Galicia. En la provincia de Zamora son de destacar los yacimientos de Carbajales, Villardeciervos y Bermillo. En Salamanca aparece en el gneis de Hinojosa del Duero con casiterita y también en Torrubias, Alquería de Cequena, Santo Tomé de Rozados, Bernoy y Cemprón. En Andalucía son de importancia las mineralizaciones en cuarzo de Marmolejo (Jaén) y las del Cerro de las Cabezas en Montoro y otras localidades de la parte central del batolito de Los Pedroches (Córdoba). En Linares y Vilches (Jaén). En la Sierra de Almagrera (Almería). En las minas de La Unión en Cartagena (Murcia). En Badajoz destacan las localidades de Zalamea de la Serena, Valle de la Serena y Oliva de la Frontera sobre filones de cuarzo.