

## [Resumen]

La primera parte de este artículo presenta una visión general del origen, las estructuras, las composiciones y las propiedades generales de los vidrios, las cerámicas vítreas y las cerámicas. Igualmente se describen las propiedades de los materiales de partida.

## Palabras clave

Vidrios. Cerámicas vítreas. Cerámicas. Propiedades.

(Quintessenz Zahntech.  
2006;32(11):1264-73)



## Vidrios, cerámicas vítreas y cerámicas

### Parte 1: Fundamentos

**Ralf Janda**

#### Introducción

Desde hace años, los vidrios, las cerámicas vítreas y las cerámicas son materiales cada vez más indispensables para numerosas aplicaciones actuales<sup>1</sup>. Gehre<sup>2</sup> ofrece una visión general histórica interesante de estos materiales. Su ámbito de aplicación incluye desde objetos domésticos como vasos, platos y cerámicas para el baño (cerámicas con base de silicato); aplicaciones técnicas como componentes para motores, pilas quimicoeléctricas, elementos estructurales para centrales nucleares (cerámicas de óxido de aluminio), aisladores (cerámicas con base de silicato) o carcasas para relojes de pulsera (óxido de zirconio); hasta aplicaciones de alta tecnología, como chips para ordenadores o células solares (vidrio silicatado). Los vidrios y las cerámicas también juegan un papel importante en la medicina y la técnica de la medicina. En la técnica de la medicina se utilizan las fibras de vidrio ópticas para la cirugía con láser o para el alumbrado en miniatura de los sistemas con cámara. La cerámica de óxido de zirconio tiene un uso específico como cabeza para las prótesis de cadera, aunque también se utilizan otras cerámicas especiales como material de sustitución ósea. La figura 1a muestra una visión general a modo de ejemplo de los materiales cerámicos y la figura 1b muestra las cerámicas dentales en particular. La química del vidrio es mucho más compleja que la química de las cerámicas. Por este motivo la figura 2 sólo puede mostrar un esquema a

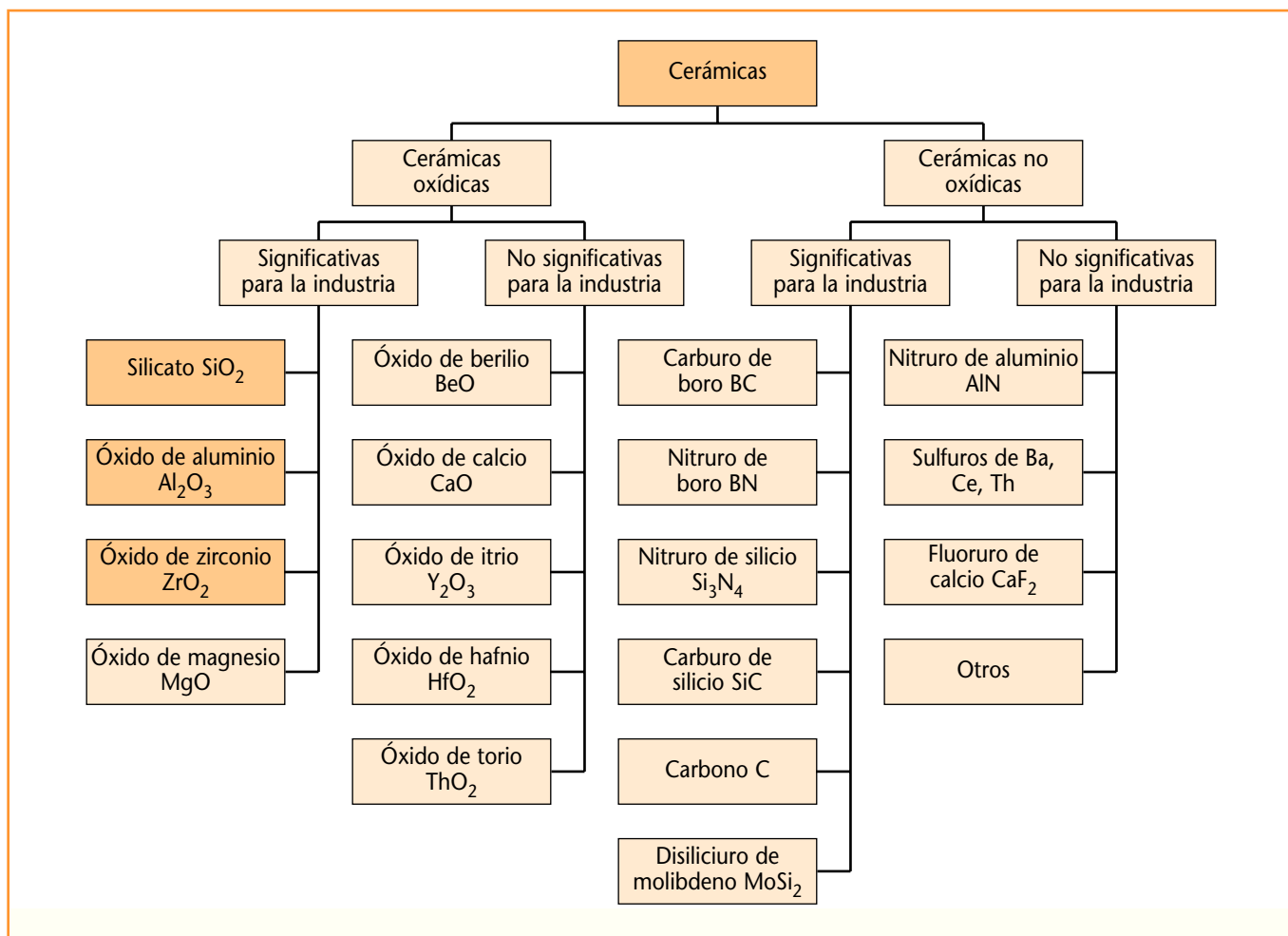


Fig. 1a. Visión general de los diferentes tipos de cerámica.

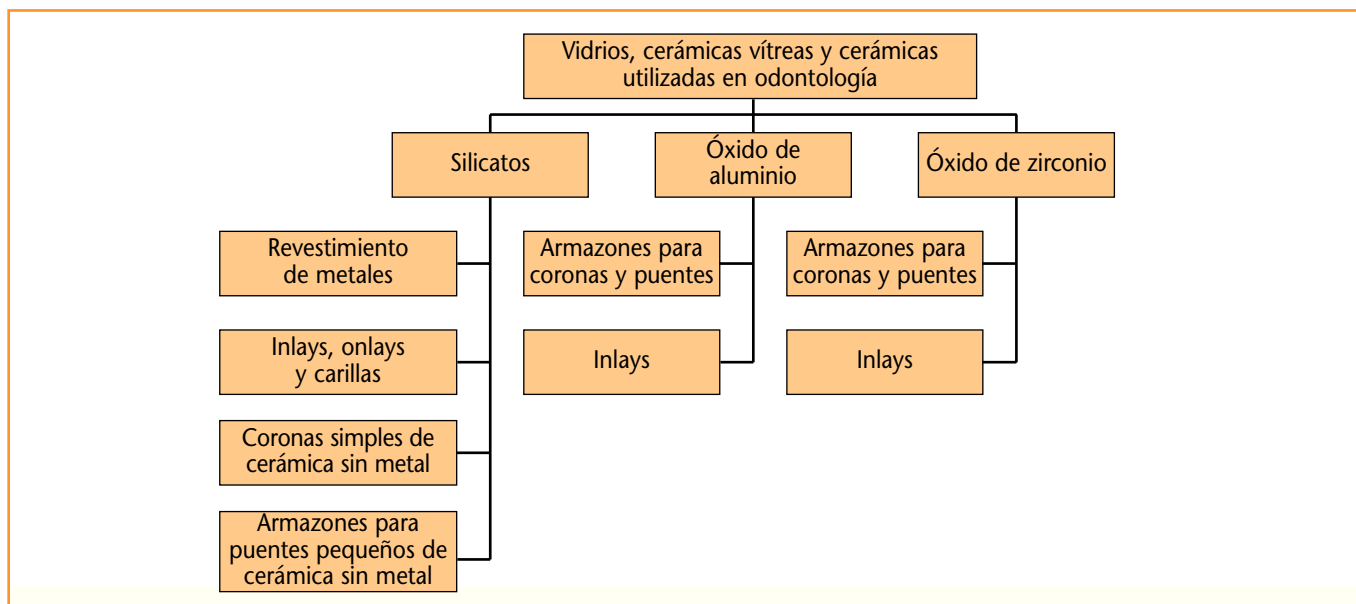


Fig. 1b. Cerámicas dentales y sus indicaciones.

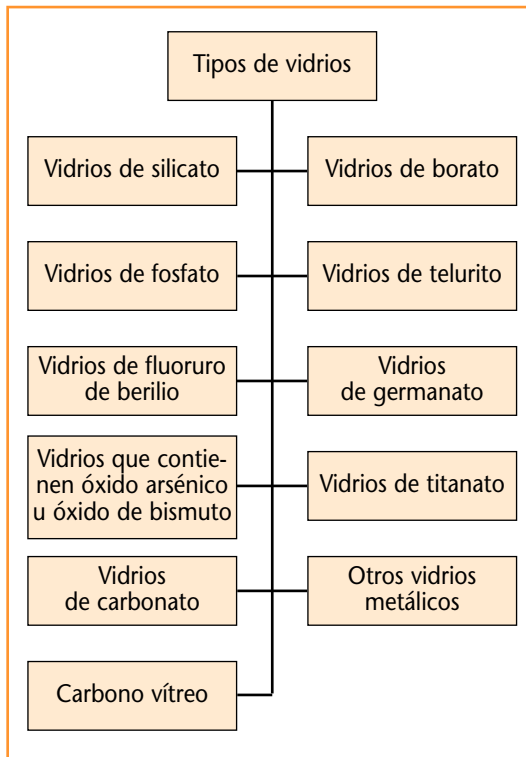


Fig. 2. Diferentes tipos de vidrios.

modo de ejemplo de los enlaces ilustrativos del vidrio más importantes. Las cerámicas dentales representadas en la figura 1 con sus ámbitos de indicación pertenecen tanto a los vidrios y a las cerámicas vítreas como a las cerámicas puras. Sin embargo, en el lenguaje odontológico no siempre se hace una diferencia correcta de los diferentes grupos, sino que éstos se agrupan en general bajo el concepto general de cerámica.

La química y la física de los vidrios, las cerámicas vítreas y las cerámicas sólo se explican en la medida necesaria para la comprensión de los materiales odontológicos. Es posible profundizar en este tipo de materiales con el estudio de algunas monografías extensas<sup>3-8</sup>. Adicionalmente se explican las propiedades fundamentales del vidrio, la cerámica vítrea y la cerámica.

A modo introductorio cabe mencionar que la composición de los vidrios, las cerámicas vítreas y las cerámicas resulta de la fórmula de su óxido más simple. Ésta es, por ejemplo, la composición del cristal, que es un vidrio silicatado:

- 75%  $\text{SiO}_2$ .
- 13%  $\text{Na}_2\text{O}$ .
- 12%  $\text{CaO}$ .

La composición de una cerámica de óxido de aluminio pura es  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y la de una cerámica de óxido de zirconio  $\text{ZrO}_2$ . En cada caso se profundizará en la composición y el proceso de formación en los correspondientes apartados.

**Vidrios** En general se entiende por vidrio una fusión refrigerada por debajo de la temperatura normal que se solidifica sin que tenga lugar la cristalización. Los átomos, iones o moléculas de un vidrio tienen un orden de corto alcance, pero no tienen ningún orden dirigido de largo alcance (fig. 3a). Estos materiales no cristalizados se llaman amorfos. Las características macroscópicas propias de los vidrios son:

- Aspecto hialino transparente.
- Punto de fusión no muy brusco, con un intervalo de fusión relativamente amplio.
- Temperatura de transformación, también denominada zona de transformación o temperatura vítrea. Por encima de esta temperatura el vidrio es duro y viscoso, por debajo el vidrio es frágil.

Como vidrio se pueden denominar todos los materiales cuya estructura se parezca a la de un líquido. Sin embargo, su dureza es tan alta en condiciones normales (por éstas se entienden las condiciones de vida humanas habituales) que se encuentran como cuerpos fijos. Un ejemplo de la naturaleza líquida de los vidrios son los vitrales centenarios de las iglesias, donde se observa que son más delgados arriba que abajo. Esto es una consecuencia de la gravedad del «líquido del vitral de la iglesia», altamente viscoso. El vidrio también fluye, aunque de forma «inacabablemente» lenta, pero fluye.

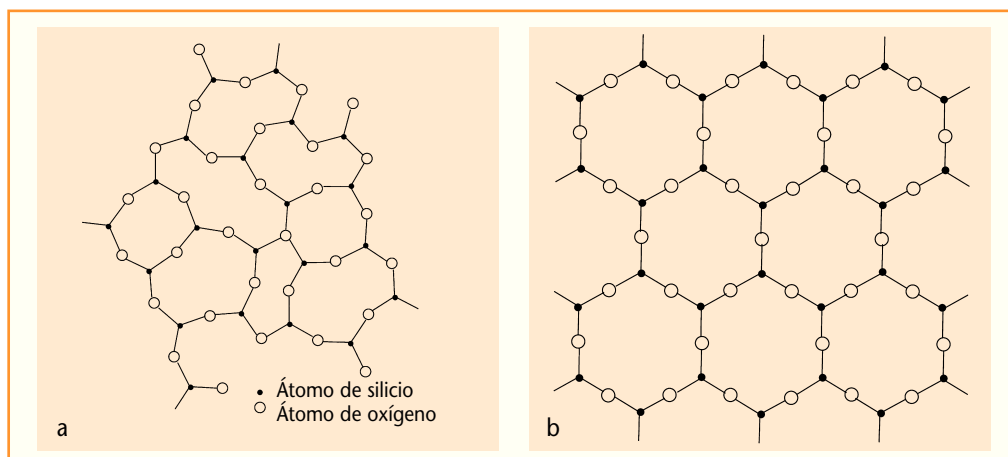


Fig. 3. a. Estructura del vidrio.  
b. Estructura de la cerámica.

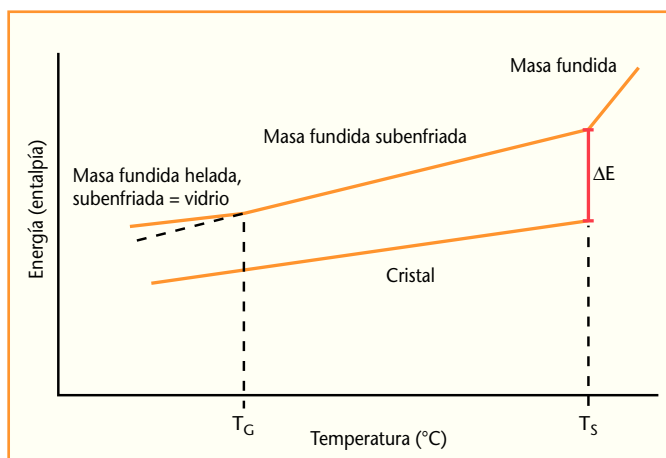


Fig. 4. Área de existencia de una masa fundida, el vidrio y la cerámica.

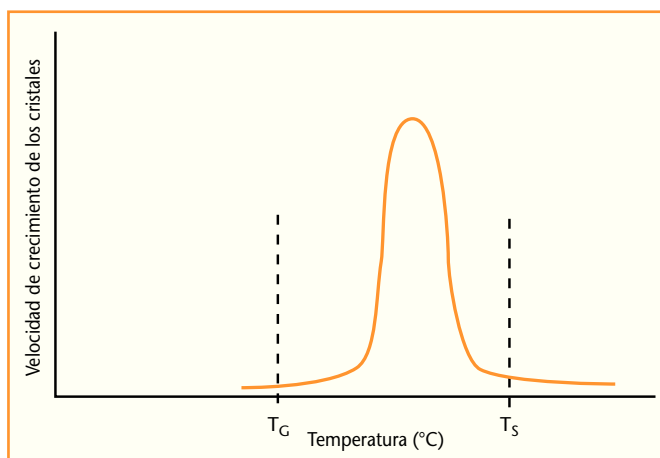


Fig. 5. Trazado de la velocidad de crecimiento de los cristales.

Así, en general, un vidrio se forma cuando, en comparación con la velocidad de enfriamiento, la velocidad de la germinación del cristal o el crecimiento del cristal es bajo durante la fusión o justo por debajo del punto de fusión. La velocidad de crecimiento del cristal también es extremadamente baja en el punto de fusión (alta temperatura = alta agitación molecular), a continuación aumenta con el enfriamiento creciente de la fusión y alcanza de nuevo un máximo con el posterior enfriamiento (fig. 5). Después de que se alcance este máximo y la temperatura vuelva a descender, la velocidad de crecimiento de los cristales disminuye en valores inmensurables. De ello resulta que la fusión sólo puede realizarse de forma satisfactoria en el estado vítreo cuando se sobrepasa el punto máximo de la velocidad de crecimiento de los cristales muy rápidamente, para ser más exactos, con una velocidad mayor que la de crecimiento del cristal. Las velocidades de crecimiento de los cristales pueden variar mucho. Para vidrios con aplicaciones técnicas, por ejemplo, éstas se encuentran por debajo de  $10 \mu\text{min}^{-1}$ . El estado vítreo es metaestable, es decir, el vidrio tiene un estado de energía mayor que el de la cerámica. La figura 4 muestra claramente esta situación. Una fusión cristalizante tiene lugar cuando la temperatura de fusión  $T_S$  desciende con un cambio brusco de la energía (denominado *entalpía*, véanse los manuales introductorios de química inor-

gánica y general<sup>5</sup>) en el estado cristalino. En caso de falta o imposibilitación de la cristalización, la fusión permanece en estado subenfriado y a continuación la temperatura desciende por debajo de la temperatura de formación del vidrio o, mejor dicho, del margen de transformación  $T_G$  en el estado vítreo. A causa de la metaestabilidad del estado vítreo, los vidrios se cristalizan, es decir, se «vitrifican» con un calentamiento más largo (maleabilización) a temperaturas por debajo del margen de transformación  $T_G$ , para llegar al estado de poca energía (cristalino). A veces este proceso también transcurre a temperatura ambiente, pero extremadamente despacio y durante largo tiempo. La cristalización tiene lugar mayoritariamente en condiciones oscuras.

## Las cerámicas vítreas

Las cerámicas vítreas son materiales que se fabrican mediante una cristalización controlada de vidrios con determinadas composiciones. Se caracterizan por tener una estructura uniforme, muy cristalina y no porosa, donde, además de una fase cristalina, conservan una parte de la fase vítreo como componentes estructurales<sup>4</sup>.

Las cerámicas vítreas son principalmente de origen silicatado. Algunas de las fórmulas más importantes son por ejemplo  $\text{Li}_2\text{-ZnO-SiO}_2$ ,  $\text{Li}_2\text{-MgO-SiO}_2$ ,  $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  o  $\text{K}_2\text{O-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-F}$ . En la fabricación de una cerámica vítrea, primeramente se funde un vidrio a partir de las materias primas habituales. La elaboración o la conformación de las cerámicas vítreas se realizan normalmente en estado vítreo según el procedimiento habitual, por ejemplo, soplo, compresión, extensión o colado. Cuando se obtiene la forma final, la cristalización tiene lugar mediante un proceso de maleabilización controlado (fig. 6). Este proceso se realiza principalmente en dos fases: en la primera fase se calienta la materia prima hasta una temperatura en la que la velocidad de crecimiento de los cristales aún es bastante baja. A continuación, en la segunda fase, la temperatura aumenta hasta que se consigue una velocidad óptima de crecimiento para los cristales que no llegue a deformar la pieza. Con la selección adecuada del programa de tiempo y temperatura se pueden crear la construcción en fases y la microestructura deseadas según la velocidad de crecimiento de los cristales. Cabe mencionar que las materias primas deben tener una determinada relación (estequiometría) entre ellas para que pueda formarse la fase de cristalización deseada. También es posible añadir a la fusión vítrea determinadas sustancias en pequeñas cantidades que aceleran la formación de cristales<sup>4</sup>. En las cerámicas vítreas hay que prestar mucha atención a la dilatación térmica (coeficiente de dilatación térmica lineal) en la fase vítrea y cerámica. Las fisuras o fracturas microscópicas o macroscópicas pueden suponer grandes diferencias.

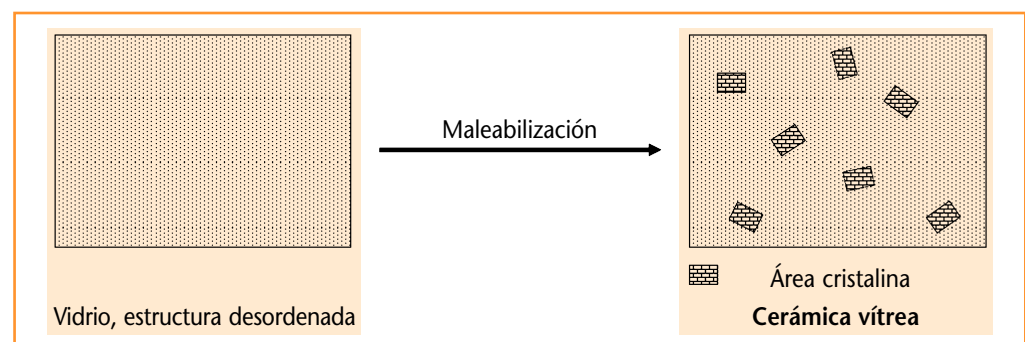


Fig. 6. Estructura de una cerámica vítrea.

Muchas «cerámicas» dentales son cerámicas vítreas. Dentro de este grupo cabe mencionar especialmente las cerámicas fundidas sobre metal, las cerámicas sin metal reforzadas con leucita o disilicato de litio o la cerámica colada Dicor que actualmente ya no está disponible, pero que todavía tiene una gran importancia histórica. A continuación se profundizará sobre ello en los puntos correspondientes.

Al contrario que el vidrio, la cerámica tiene una estructura cristalina, es decir, tiene un orden de corto alcance y un orden de largo alcance de los elementos (átomos, iones o moléculas) de los cristales (fig. 3b). Las cerámicas se caracterizan por:

### Cerámica

- Ser generalmente opacas, los monocristales también son opacos.
- Tener un punto de fusión definido.

El cristal puede interpretarse como una red de puntos tridimensional, en la que cada elemento se corresponde a un punto de la red. Para poder describir la red espacial, se aplica un sistema de coordenadas en esta red de tal forma que su origen se encuentre en un punto de la red. Con el desplazamiento (traslación) de un punto de la red en cada eje hasta el siguiente punto de la red equivalente se obtienen las constantes de la red. En un determinado cristal las constantes de la red definen también las distancias del elemento de la unidad más pequeña que siempre se repite, denominada célula elemental. Las constantes de la red y el ángulo entre los ejes describen de forma inequívoca un cristal. En total se pueden distinguir siete sistemas cristalinos diferentes:

- Triclínicos.
- Monoclínicos.
- Ortorrómbicos.
- Hexagonales/trigonales.
- Tetragonal.
- Romboédricos.
- Cúbicos.

A partir de estos cristales se pueden formar las conocidas catorce redes de Bravais por movimiento traslacional (desplazamiento) (véase la literatura al respecto<sup>3,5,6</sup>). La figura 7 muestra diferentes redes de traslación a modo de ejemplo. De estas consideraciones se extrae una deducción importante: las distancias entre las diferentes direcciones de un cristal no son iguales, excepto en una red cúbica. De ello también se desprende que las propiedades de los cuerpos sólidos cristalinos son diferentes en distintas direcciones. Por tanto, en la mayoría de los casos, los cristales se comportan de forma anisotrópica (dependen de la dirección) y sólo en pocos casos de forma isotrópica (no dependen de la dirección). En relación con este aspecto, las cerámicas también se contraponen a los vidrios amorfos, que siempre tienen un comportamiento isotrópico.

El estado cristalino es un estado con poca energía, es decir, un estado energético (termodinámico) estable de la materia sólida. En un cuerpo sólido se crean enlaces entre cada átomo o ión y se produce una «acumulación» de estos átomos o iones. Puesto que normalmente existe un número limitado de diferentes átomos/iones, siempre se pro-

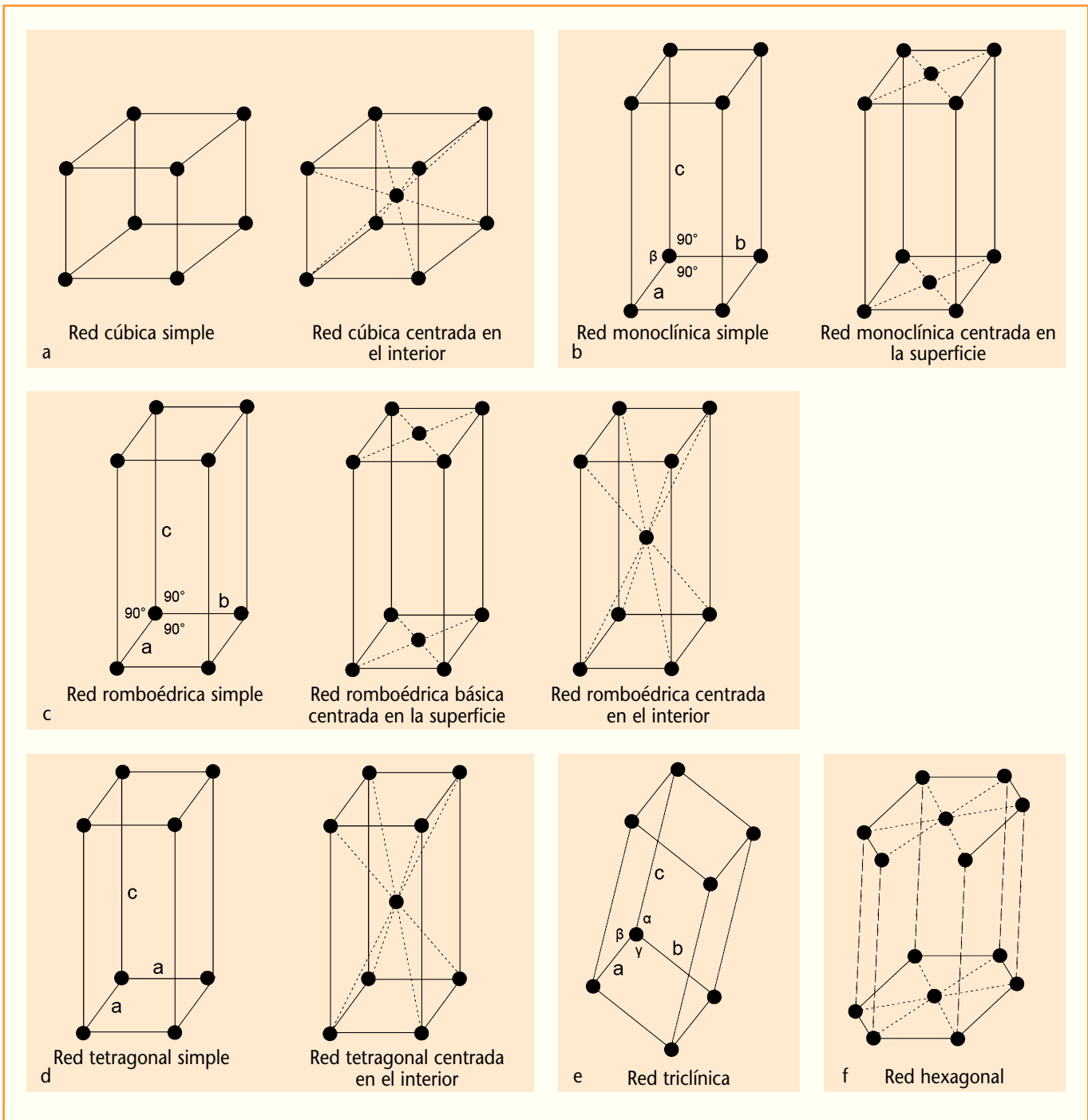


Fig. 7. a. Diferentes redes de cristales cúbicos. b. Diferentes redes de cristales monoclinicos. c. Diferentes redes de cristales romboédricos. d. Diferentes redes de cristales tetragonales. e. Diferentes redes de cristales triclinicos. f. Diferentes redes de cristales hexagonales.



ducen las mismas energías de enlace. Esto tiene como consecuencia la formación de un orden periódico, generalmente tridimensional, denominado cristal. Los enlaces activos entre cada uno de los elementos de un cristal pueden ser los siguientes:

- Enlace covalente (entre átomos).
- Enlace iónico.
- Enlace metálico.
- Enlace Van der Waals.
- Enlace de hidrógeno.

Se hace referencia a cada uno de los tipos de enlace en la literatura pertinente<sup>3,5,6</sup>. La ordenación periódica de los elementos de cristal contrarresta la contracción térmica, que, según su grado, produce una rotura de la estructura cristalina, es decir, funde el cristal. Esta temperatura, denominada temperatura de fusión, es diferente en cada cristal. Este comportamiento se contrapone al del vidrio, que normalmente se ablanda en un amplio margen de temperatura antes que pase a la fase de fusión.

Los vidrios, las cerámicas vítreas o las cerámicas se pueden fabricar a partir del silicato. Estos materiales silicatados son muy importantes en odontología. Los silicatos se crean según unos determinados principios de ordenación. El elemento principal de todos los silicatos es el tetraedro de  $\text{SiO}_4$  (fig. 8), en el cual el átomo de silicio se encuentra en el centro y los cuatro átomos de oxígeno en las esquinas del tetraedro. El tetraedro de  $\text{SiO}_4$  tiene una carga negativa cuádruple que se expresa como  $[\text{SiO}_4]^{4-}$ , pero normalmente se abrevia simplemente como  $\text{SiO}_2$ . En las diferentes estructuras de silicato se juntan muchos tetraedros como el descrito anteriormente de diferentes maneras, por lo que se crean grandes enlaces de cristales. Los tetraedros  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  se pueden juntar por las esquinas, los lados o las superficies y formar así anillos, cadenas, estratos o estructuras tridimensionales.

Las materias primas silicatadas más importantes que existen de forma natural como mineral para fabricar materiales dentales son:

- Cuarzo
- Cristobalita
- Caolín
- Feldespato

Naturalmente, para la fabricación de vidrios, cerámicas vítreas y cerámicas dentales también es posible utilizar únicamente materias primas sintéticas. Esto tiene la desventaja de que estas materias son ostensiblemente más caras que las que existen de forma natural, pero también tiene la ventaja de que su pureza es considerablemente mayor. La industria dental denomina a las cerámicas dentales que se fabrican a partir de materias primas sintéticas como «cerámicas sintéticas», lo cual puede inducir a error. Sobre este aspecto cabe remarcar que, naturalmente, todas las cerámicas, indiferentemente de si su materia prima es sintética o no, son productos sintéticos, es decir, creados por la mano del hombre. Debe quedar claro que las características de las ma-

### Silicatos

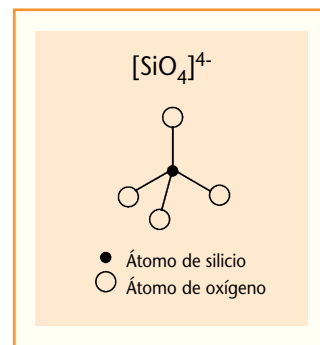


Fig. 8. Tetraedro de  $\text{SiO}_4$ .



terias primas originales desaparecen por completo en el producto acabado y se crea un producto totalmente nuevo y distinto.

**Cuarzo** El cuarzo es la modificación cristalina más importante de  $\text{SiO}_2$  que existe de forma natural. Perteneció al grupo de los tectosilicatos. A  $573^\circ\text{C}$  el cuarzo adopta una estructura cristalina distinta con una expansión de volumen de aproximadamente un 14,4% (cambio de cuarzo alfa con simetría trigonal a cuarzo beta con simetría hexagonal), propiedad que se utiliza, por ejemplo, en las masas de revestimiento para igualar la concentración térmica durante la fundición del metal. Al calentarse, el cuarzo se transforma primero en tridimita y a continuación en cristobalita, proceso en el que su densidad inicial de  $2,65\text{ gcm}^{-3}$  disminuye hasta  $2,32\text{ gcm}^{-3}$ . El cuarzo se encuentra en minerales naturales como el granito, el pórfido de cuarzo, el gneis y la micacita. El cuarzo puro se encuentra en el cristal de roca, la cuarcita y en arenas; es transparente como el agua, tiene una estructura cristalina vítrea y sus superficies de rotura son muy brillantes. El cuarzo es el mineral que más aplicaciones tiene. Su dureza en la escala de Mohs es de 7, se funde a  $1.705^\circ\text{C}$  y tiene un coeficiente de dilatación térmica lineal<sup>3,5</sup> de entre 0 y  $100^\circ\text{C}$ ,  $\alpha = 12,3 \times 10^{-6}\text{K}^{-1}$ . Los cuarzos naturales altamente puros se caracterizan por su bajo contenido en hierro. Esto es extraordinariamente importante para las porcelanas finas y los vidrios o cerámicas dentales, ya que el hierro origina unas coloraciones muy fuertes.

**Cristobalita** Otra modificación del  $\text{SiO}_2$  es la cristobalita, que pertenece también al grupo de los tectosilicatos. Se origina irreversiblemente con la fundición del cuarzo a temperaturas superiores a  $1.200^\circ\text{C}$ . La cristobalita es metaestable a temperatura ambiente e incluso puede encontrarse como mineral. Tiene una densidad de  $2,32\text{ gcm}^{-3}$ , un coeficiente de dilatación térmica lineal de entre 0 y  $100^\circ\text{C}$  de  $\alpha = 10,3 \times 10^{-6}\text{K}^{-1}$ , es tetragonal, de color blanco y con brillo vítreo. Su dureza en la escala de Mohs es de 6,5. Al enfriarse, la llamada cristobalita beta se transforma en cristobalita alfa a  $270^\circ\text{C}$  con una concentración de volumen<sup>3,5</sup>.

**Caolín** Los caolines son un grupo de materiales no uniformes que se clasifican por los tonos (para más detalles véase la literatura<sup>3</sup>) y pertenecen al grupo de los filosilicatos. Se formaron por descomposición de las rocas solidificadas durante la génesis de la Tierra. Las rocas más importantes que forman caolín son el granito, el gneis y el pórfido de cuarzo. Los caolines se diferencian por su contenido en impurezas, que son restos de la formación primitiva del cuarzo o de enlaces de hierro y por sus diferentes granulaciones. El caolín puro es blando, de color blanco terroso, casi no se funde y tienen una granulación de  $0,5$  a  $10\text{ }\mu\text{m}$ . Mezclado con agua, forma, como es habitual en las arcillas, una masa plástica que puede modelarse como se desee, puesto que durante el amasado, el secado o la cocción mantiene siempre una fuerte cohesión<sup>3,5</sup>.

**Feldespato** Los feldespatos son tectosilicatos. Para su aplicación dental, especialmente el feldespático potásico (ortoclasa)  $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$  y el feldespato sódico (albita)  $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$  desempeñan un papel fundamental donde el feldespato potásico es el más importante. Además de estos dos feldespatos cabe mencionar también el feldespato alcalino (anortita)

$\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ . Los feldespatos tienen un punto de fusión relativamente bajo, que puede estar entre 1.160 y 1.500 °C dependiendo del contenido de  $\text{K}_2\text{O}$  o de  $\text{Na}_2\text{O}$ . Por tanto, los feldespatos se llaman también fundentes, ya que funden cantidades considerables de cuarzo y caolín y sus puntos de fusión pueden disminuir con éstos. Su dureza en la escala de Mohs está entre 6 y 6,5 y su densidad es de entre 2,53 y 2,77  $\text{gcm}^{-3}$ . El feldespato potásico y el feldespato sódico se funden a aproximadamente 1.150 °C<sup>2,3,5</sup>.

La segunda parte de este artículo se publicará en el número de enero 2007 de *Quintessenz Zahntechnik*.

1. Christen H R. Grundlagen der allgemeinen und anorganischen Chemie. 6. Auflage. Frankfurt/M.: Otto Salle und Sauerländer, 1980.
2. Gehre HF, Eichner K. Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Kapitel: Keramische Werkstoffe. Heidelberg: Hüthig Verlag, 1996.
3. Kappert H. Vollkeramik – Werkstoffkunde – Zahntechnik – klinische Erfahrung. Berlin: Quintessenz: 1998.
4. Preston X. Perspektiven der Dentalkeramik – Berichte vom Vierten Internationalen Keramik-Symposium. Berlin, 1989.
5. Roulet JF, Janda R. Keramiksysteme der Zukunft. Quintessenz Zahntech 2004;30(9):986-1006.
6. Salmang H, Scholze H. Keramik, Teil 1: Allgemeine Grundlagen und wichtige Eigenschaften. 6. Auflage. Heidelberg: Springer Verlag, 1982.
7. Salmang H, Scholze H. Keramik, Teil 2: Allgemeine Grundlagen und wichtige Eigenschaften. 6. Auflage. Heidelberg: Springer Verlag, 1983.
8. Vogel W. Glaschemie. 3. Auflage. Berlin: Springer Verlag, 1992.

### Bibliografía

Prof. Dr. Ralf Janda, Heinrich-Heine-Universität, Westdeutsche Kieferklinik, Poliklinik für Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde, Moorenstr. 5, 40225 Düsseldorf, Alemania.  
Correo electrónico: ralf.janda@uni-duesseldorf.de

### Correspondencia