

MODELOS DE BAJO COSTO PARA LA REPRESENTACIÓN DE ESTRUCTURAS DE SILICATOS*

Aarón Pérez-Benítez, Guadalupe Hernández Acevedo y Enrique González Vergara**

Aportaciones novedosas en relación con modelos químicos. Incluimos un tercer artículo del grupo de la Maestría en Química de la Universidad Autónoma de Puebla. Los dos primeros aparecieron en el volumen 2, números 2 y 4, con los títulos "Modelos tridimensionales para ilustrar las catorce redes de Bravais: una alternativa para el estudiante" y "Un tetraedro o un tetraedro alargado a partir de un popote y un cordel".

* Parte de este trabajo fue presentado en la "I Reunión Científica plenaria de Química Inorgánica, en Toledo, España, en 1989.

** Escuela de Ciencias Químicas-Maestría en Química. Universidad Autónoma de Puebla. Av. 14 Sur y Av. San Claudio. Col. San Manuel. Puebla 72000, México.

ABSTRACT

The construction of inexpensive models of joined tetrahedra by shared vertices is described in this paper. The models are based in tetrahedral units linked each other in a very simple way. These models are useful for teaching stereochemistry of silicates.

INTRODUCCIÓN

La corteza terrestre está formada principalmente de silicatos metálicos, siendo el oxígeno y el silicio los elementos que dan cuenta del 75 % de su masa; de hecho, los ocho elementos más abundantes se presentan en forma de silicatos (Douglas *et al.*, 1983).

Los silicatos también tienen una gran importancia tecnológica, debido a sus propiedades, que los hacen aplicables para técnicas cromatográficas y catalíticas; tal es el caso de las zeolitas, que son estructuras basadas en silico-aluminatos (Purcell y Kotz, 1979).

La enseñanza de los silicatos en los cursos de química general e inorgánica puede abordarse combinadamente con el uso de modelos tridimensionales construidos por los mismos estudiantes. La elaboración de un tetraedro a partir de un popote y un cordel (Pérez-Benítez y González-Vergara, 1991) es muy sencilla y el enlazamiento con otro(s) a través de uno o más de sus vértices para formar neso-, soro-, ciclo-, ino-, filo- y/o tectosilicatos (Greenwood y Earnshaw, 1984), no representa mayor dificultad. En la Tabla 1 se mencionan algunos ejemplos característicos de compuestos que presentan estas estructuras (Greenwood y Earnshaw, 1984; Benton, 1978; Huheey, 1981).

Tabla 1.

Clasificación	Característica estructural	Oxígenos compartidos	Ejemplo
Nesosilicatos	discreto SiO_4	0	Zirconia ZrSiO_4
Sorosilicatos	discreto Si_2O_7	1	Tortveitita $\text{Sc}_2\text{Si}_2\text{O}_7$
Ciclosilicatos	estructura cíclica	2	Diopsida $[\text{CaMgSi}_2\text{O}_6]$
Inosilicatos	cadena continua	2	Ferrosilita $[\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6]$
Filosilicatos	lámina continua	3	Talco $\text{Mg}_3(\text{OH})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}$
Tectosilicatos	estructura tridimensional	4	Cuarzo SiO_2

Si inicialmente se establece la representación del anión ortosilicato (SiO_4^{4-}) con un tetraedro (figura 1a), en donde el átomo de silicio se encuentra en el centro y los átomos de oxígeno en los vértices, entonces la representación puede hacerse extensiva a sus isopolianiones y heteropolianiones, aún cuando en lo sucesivo se omitan las esferas que representan a dichos átomos (figura 1b). Así, además de

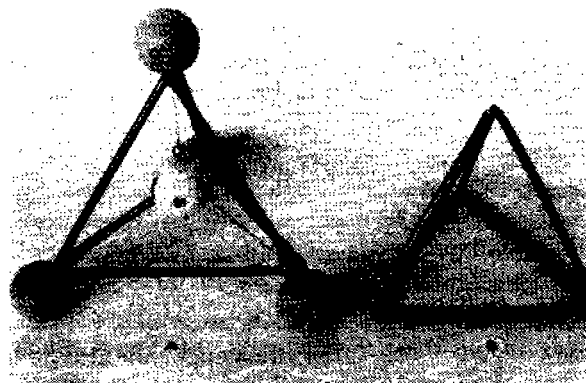


Figura 1. Modelos tridimensionales del anión ortosilicato (SiO_4^{4-}). a) Se estilizan los átomos para mostrar su posición; b) Se omiten las esferas que representan a los átomos.

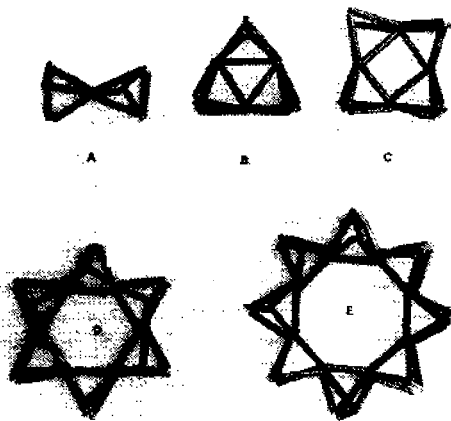


Figura 2. Modelos tridimensionales de los aniones disilicato y de silicatos cíclicos: a) disilicato ($\text{Si}_2\text{O}_7^{6-}$), b) trisilicato ($\text{Si}_3\text{O}_9^{6-}$), c) tetrasilicato ($\text{Si}_4\text{O}_{12}^{6-}$), d) hexasilicato ($\text{Si}_6\text{O}_{18}^{6-}$), e) octasilicato ($\text{Si}_8\text{O}_{24}^{6-}$).

mostrar objetivamente la arquitectura de los silicatos, los modelos también sirven de base para determinar sus fórmulas empírica y molecular, pues el número de tetraedros determina el número de átomos de silicio; el número de vértices libres determina la carga del anión; y el número total de vértices (es decir, los libres más los compartidos) determina el número total de oxígenos. Por ejemplo, en el anión disilicato (figura 2a) se observan dos tetraedros compartiendo un vértice y seis vértices que no están compartidos, por lo que la fórmula molecular es $\text{Si}_2\text{O}_7^{6-}$. De la misma manera, para los metasilicatos cíclicos de la figura 2b-e (tri-, tetra-, hexa- y octasilicato), se pueden determinar las fórmulas moleculares $\text{Si}_3\text{O}_9^{6-}$, $\text{Si}_4\text{O}_{12}^{6-}$, $\text{Si}_6\text{O}_{18}^{6-}$ y $\text{Si}_8\text{O}_{24}^{6-}$, respectivamente, y de ahí deducir que la fórmula empírica para esta serie es $\text{Si}_n\text{O}_{3n}^{2n-}$, siendo SiO_3^{2-} la entidad que se repite (unidad discreta) n veces, donde n toma los valores de tres, cuatro,

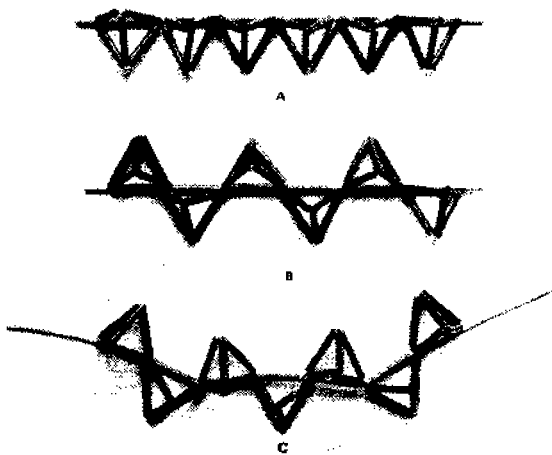


Figura 3. Modelos tridimensionales de cadenas sencillas: a) tipo 1T, b) tipo 2T y c) un arreglo al azar.

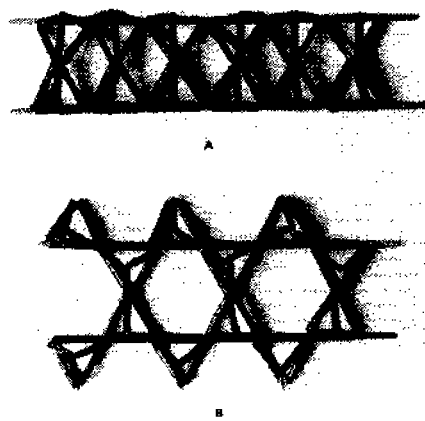


Figura 4. Modelos tridimensionales de cadenas dobles: a) derivada de cadenas tipo 1T, b) derivada de cadenas tipo 2T.

seis y ocho, respectivamente.

Análogamente, en las cadenas sencillas de metasilicatos tipo 1T y 2T[†] (figura 3a y 3b) y en las cadenas dobles derivadas de ellas (figura 4a y 4b), se pueden identificar, respectivamente, las unidades $\text{Si}_2\text{O}_5^{2-}$ y $\text{Si}_4\text{O}_{11}^{4-}$ que se repiten (Purcell y Kotz, 1979, p. 404-6; Ainscough y Brodie, 1984). Esto se muestra en los rectángulos punteados de la figura 5.

También puede abordarse la gran variedad de arreglos conformacionales que se presentan en las cadenas sencillas infinitas debido a la rotación libre de los enlaces Si-O-Si. En la figura 3c se presenta una cadena de tetraedros dispuesta al azar.

El caso de compartición completa de vértices puede ser ejemplificado por el β -cuarzo y la β -cristobalita (figura 6a y 6b respectivamente), y para los vidrios es representativo un conjunto desordenado de diferentes cadenas y ciclos (Purcell y Kotz, 1979, p. 402).

[†] 1T, 2T, ..., nT es la notación que se usa para indicar que la estructura se repite cada uno, dos, ... n tetraedros respectivamente.

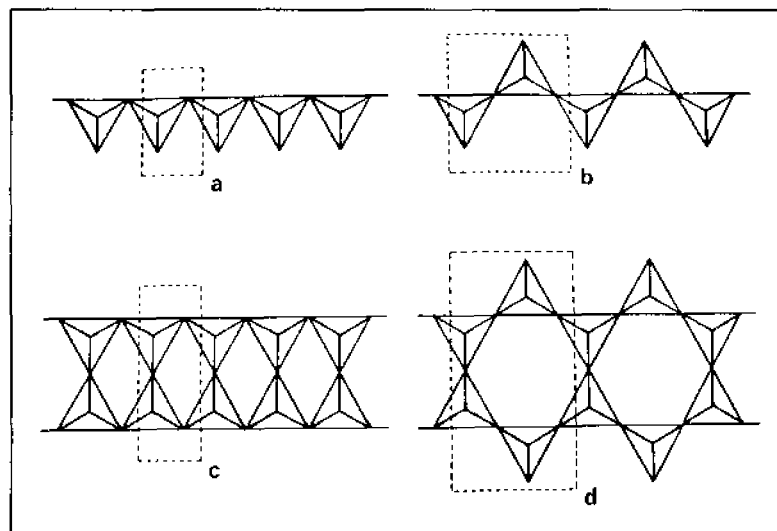


Figura 5. Unidades discretas en cadenas sencillas (incisos a y b) y dobles (incisos c y d).

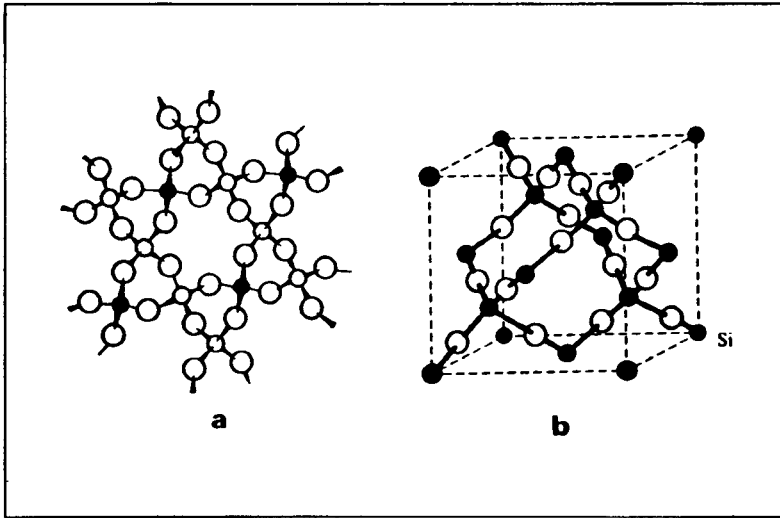


Figura 6. a) Estructura del β -cuarzo y b) Estructura de la β -cristobalita.

CONSTRUCCIÓN DE LOS MODELOS

Materiales

Popotes de plástico, palillos de madera (30-50 cm), rafia y un tramo alambre forrado del N° 10.

PROCEDIMIENTO

1) Siguiendo las instrucciones para la construcción de un tetraedro (Pérez-Benítez y González-Vergara, 1991), elabore 100 de ellos a fin de obtener una serie completa y permanente de estructuras de silicatos, o veinticuatro para una serie temporal. En este último caso es necesario efectuar amarres que sean fáciles de deshacer

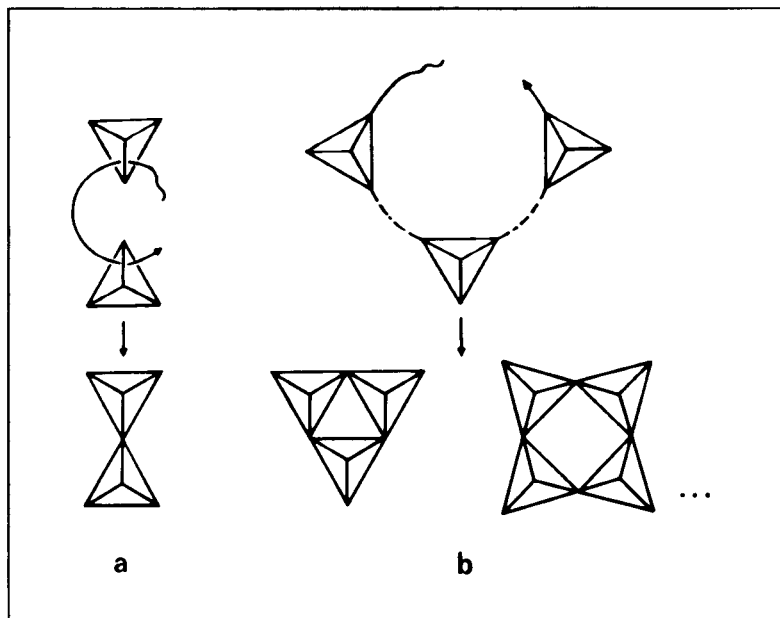


Figura 7. Construcción de: a) disilicato, b-e) tri-, tetra-, hexa-, y octasilicatos cíclicos.

para poder convertir una estructura en otra.

2) Disilicato

Una dos tetraedros pasando un cordel entre ellos, como se ilustra en la figura 7a y amárrelo.

3) Silicatos cíclicos

Por el interior de una arista de tres, cuatro, seis u ocho tetraedros, pase un cordel y amárrelo (figura 7b).

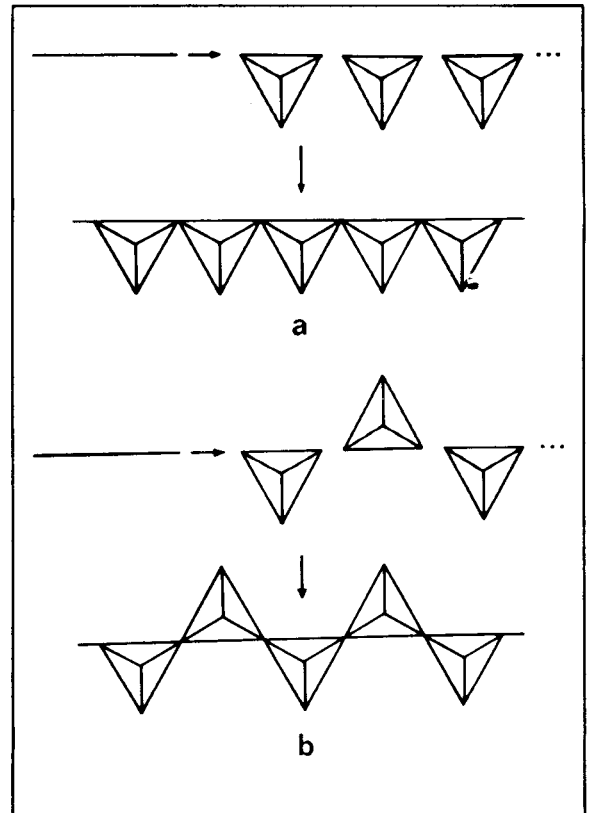


Figura 8. Construcción de cadenas sencillas: a) tipo 1T y b) tipo 2T.

4) Cadenas sencillas

a) Tipo 1T: Para representar parte de una cadena infinita sencilla tipo 1T, en un palillo de madera inserte seis tetraedros, ordénelos y aproxímelos hasta que sus vértices tengan un punto común o vértice compartido, como se ilustra en la figura 8a.

b) Tipo 2T: Para representar parte de una cadena infinita sencilla tipo 2T, en un palillo de madera inserte seis tetraedros, altérnelos y aproxímelos hasta que sus vértices tengan un punto común o vértice compartido (figura 8b).

c) Otro tipo de arreglos conformacionales (2T corto, 3T, etcétera, Purcell y Kotz, 1979, p. 404) se pueden construir insertando en un tramo de alambre forrado, el número de tetraedros necesario para ilustrar el tipo de arreglo en

cuestión. Los tetraedros se giran para lograr la orientación requerida y el alambre se moldea.

5) Cadenas dobles o bandas

a) Basadas en cadenas tipo 1T: Use seis parejas de tetraedros (disilicatos), insértelas en dos palillos y aproxímelas (figura 9a).

b) Basadas en cadenas tipo 2T: Use tres parejas de tetraedros y seis tetraedros sueltos, insértelos siguiendo el orden mostrado en la figura 9b.

Opcionalmente pueden unirse un par de cadenas tipo 2T.

6) Láminas

Use nueve parejas de tetraedros y seis tetraedros sueltos, insértelos en cuatro palillos siguiendo el orden mostrado en la figura 10 y aproxímelos.


El modelo terminado de una lámina se muestra en la figura 11.

7) Estructura tridimensional

La figura 12 muestra una estructura ordenada, derivada de la estructura tipo diamante que se presenta en la cristobalita.

Para construir el modelo de una parte de esta estructura, se usaron cadenas tipo 1T, girando alternadamente los tetraedros en un ángulo de 180° . Al unir un par de éstas, se forman ciclos de seis con tetraedros alternados, como puede observarse en la parte izquierda de la figura 13. En la parte derecha se muestra la unión de dos ciclos de este tipo.

CONCLUSIÓN

La riqueza estructural que presentan los silicatos es interesante y puede mostrarse objetivamente a través de modelos tridimensionales. La técnica de construcción es sencilla y versátil, y los materiales son económicos, por lo que inclusive pueden construirse estructuras tridimensionales muy complicadas, como es el caso de los tectosilicatos y de otras estructuras representativas para fosfatos y aluminatos. 

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Educación Pública por el financiamiento al proyecto "Material didáctico para la enseñanza de la Química" (Convenio No. C90-06-0317). Y a los estudiantes Ma. del Rosario Cordero Temol, Carmen Espinoza Romero y Rodolfo Carreón Sánchez, por su colaboración en la construcción de los modelos.

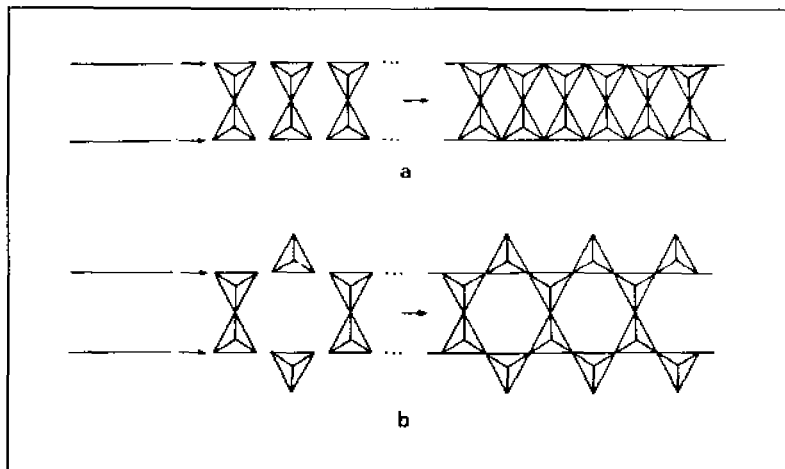


Figura 9. Construcción de cadenas dobles: a) derivadas de cadenas sencillas 1T y b) derivadas de cadenas sencillas tipo 2T.

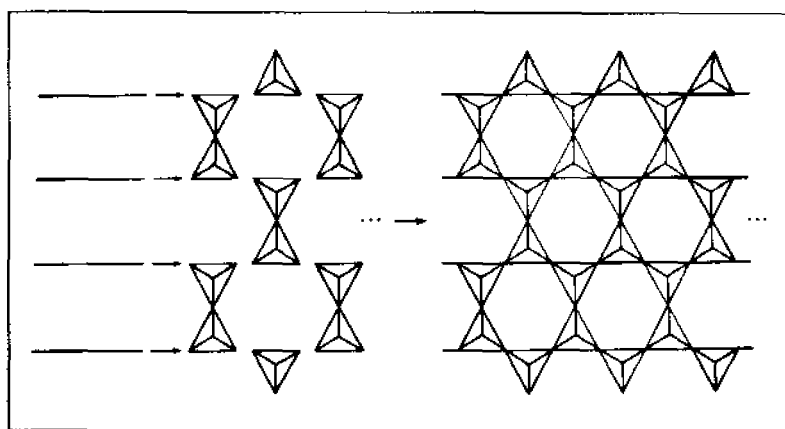


Figura 10. Construcción de láminas.

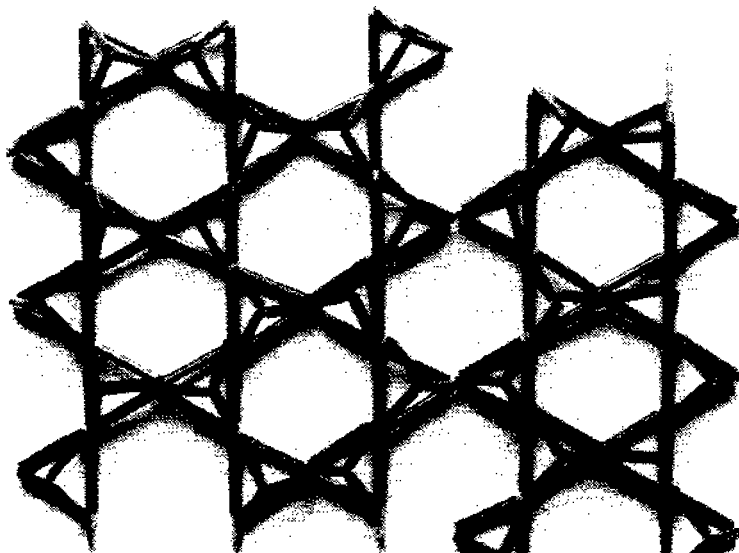


Figura 11. Modelo tridimensional de una lámina.

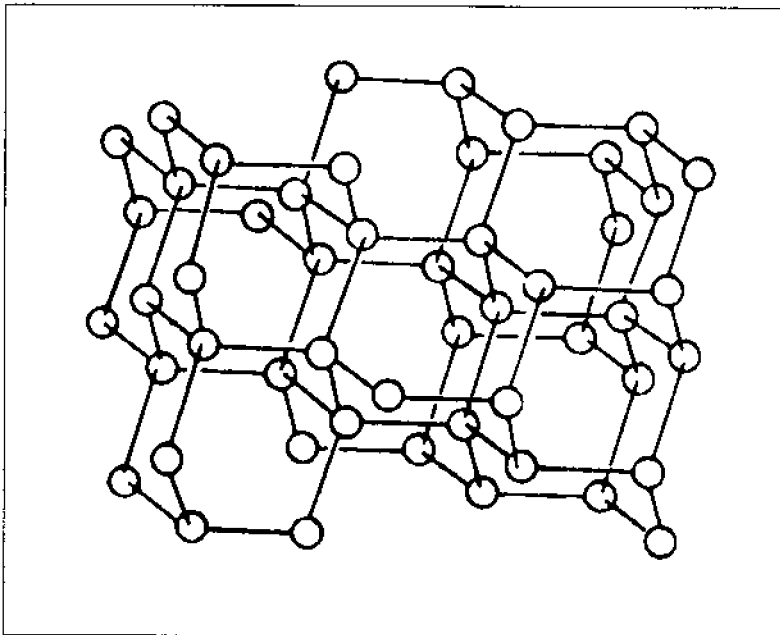


Figura 12. Representación de SiO_2 (cristobalita). Los círculos representan a los átomos de Si en tanto que los oxígenos se omiten, para dar mayor claridad.

BIBLIOGRAFÍA

- Ainscough, E.W., y A. M. Brodie, *Asbestos-structures, uses and biological activities*, *Educ. Chem.* **21**, 173-175 (1984).
- Benton, W., *Encyclopaedia Britannica*, **16**, 751-764 (1978).
- Butler, I.S. y J. F. Harrod, *Inorganic Chemistry: Principles and Applications*, The Benjamin/Cummings Publishing Co., USA, 1989, p. 475-483.
- Douglas, B., D. H. McDaniel y J. J. Alexander, *Concepts and Models of Inorganic Chemistry*, John Wiley and Sons, Inc., USA, 1983, p. 237.
- Greenwood, N.N. y A. Earnshaw, *The Chemistry of the Elements*, Pergamon, Inglaterra, 1984, p. 399-418.
- Huheey, J.E., *Química inorgánica, Principios de estructura y reactividad*, Harla, México, 1981, p. 634-6.
- Pérez-Benítez A.R. y E. González-Vergara. Un tetraedro o un tetraedro alargado a partir de un popote y un cordel. *Eduq. quím.*, **2**[4], 198-200 (1991).
- Purcell, K.F., y J. C. Kotz, *Química Inorgánica*, Reverté, España, 1979, p. 409.

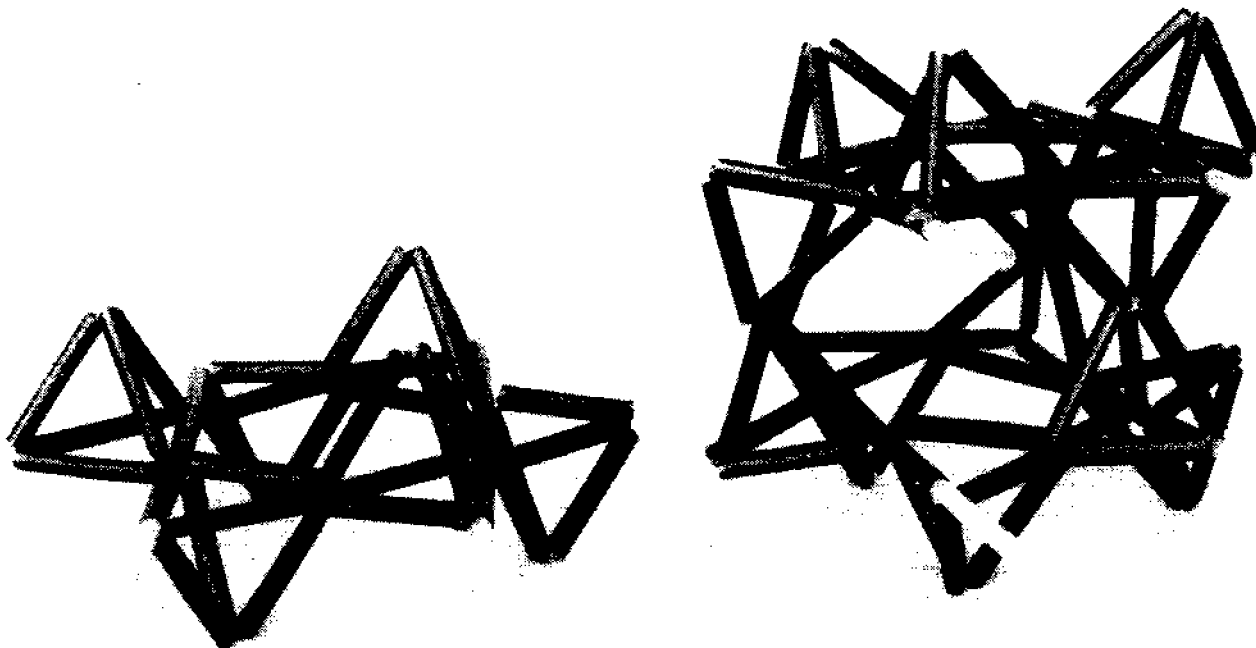


Figura 13. Modelo de una pequeña porción de la estructura de la cristobalita.