

SILICATOS

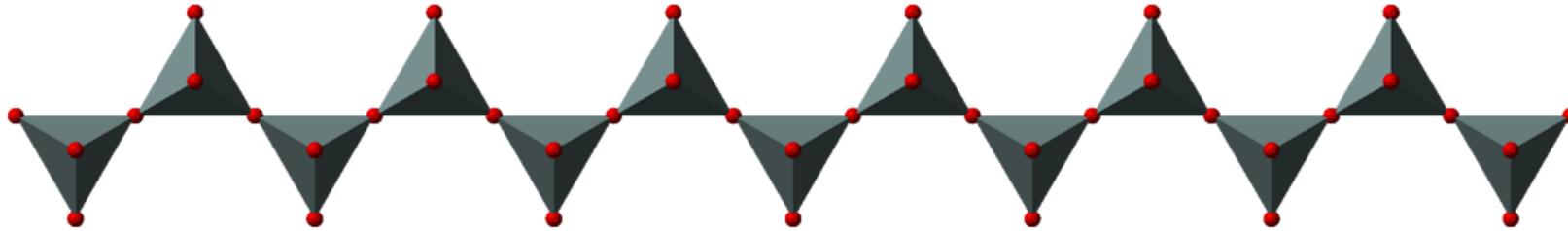
INOSILICATOS

Inosilicatos

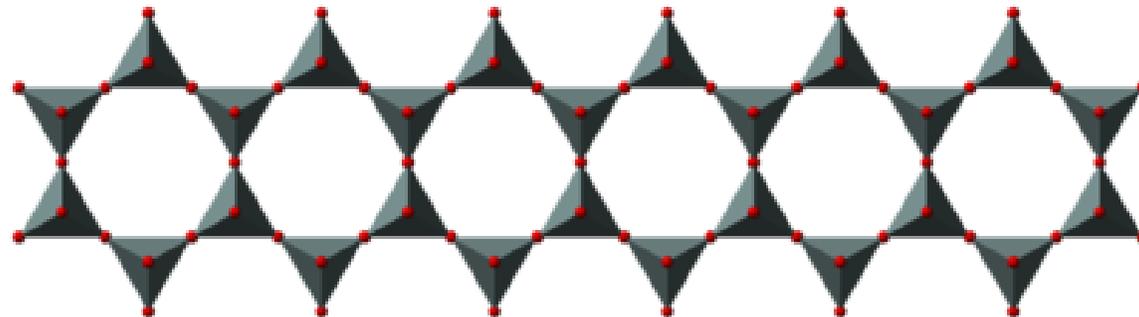
Inosilicatos

En los inosilicatos los tetraedros de SiO_4 se polimerizan de modo lineal, formando cadenas al compartir O de los grupos adyacentes. Las cadenas pueden ser de dos tipos:

- **Simples:** cada tetraedro comparte dos oxígenos, uno con cada tetraedro adyacente. La relación Si/O es 1/3. Los silicatos con esta estructura son los piroxenos y los piroxenoides. Estos minerales aparecen en rocas ígneas básicas y sus equivalentes metamórficos.

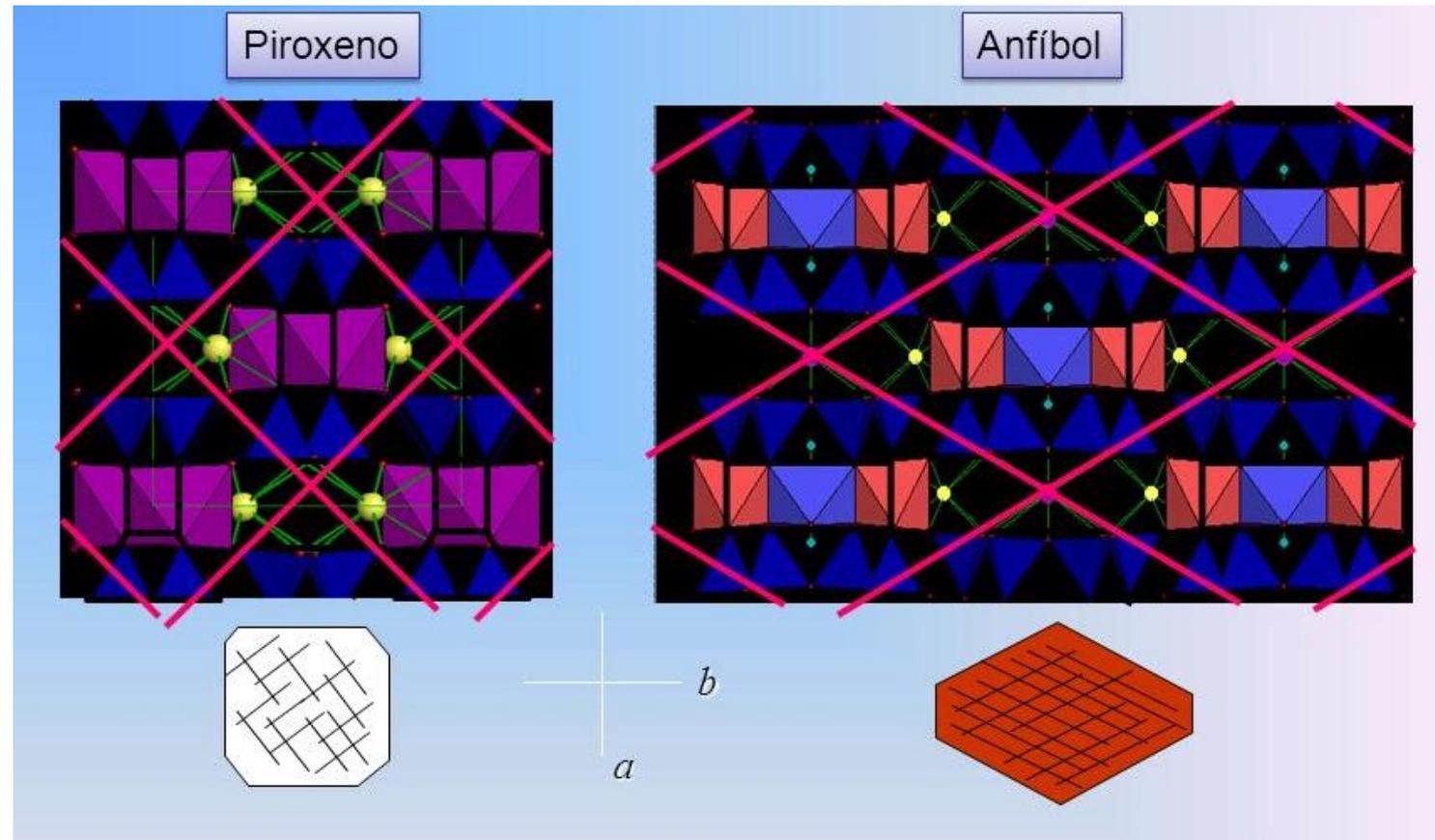


- **Dobles:** cada tetraedro comparte dos oxígenos, uno con cada tetraedro adyacente, y uno de cada dos tetraedros comparte un tercer oxígeno con la cadena paralela. La relación Si/O es 4/11. Los silicatos con esta estructura son los anfíboles. Estos minerales aparecen en rocas ígneas básicas y sus equivalentes metamórficos.



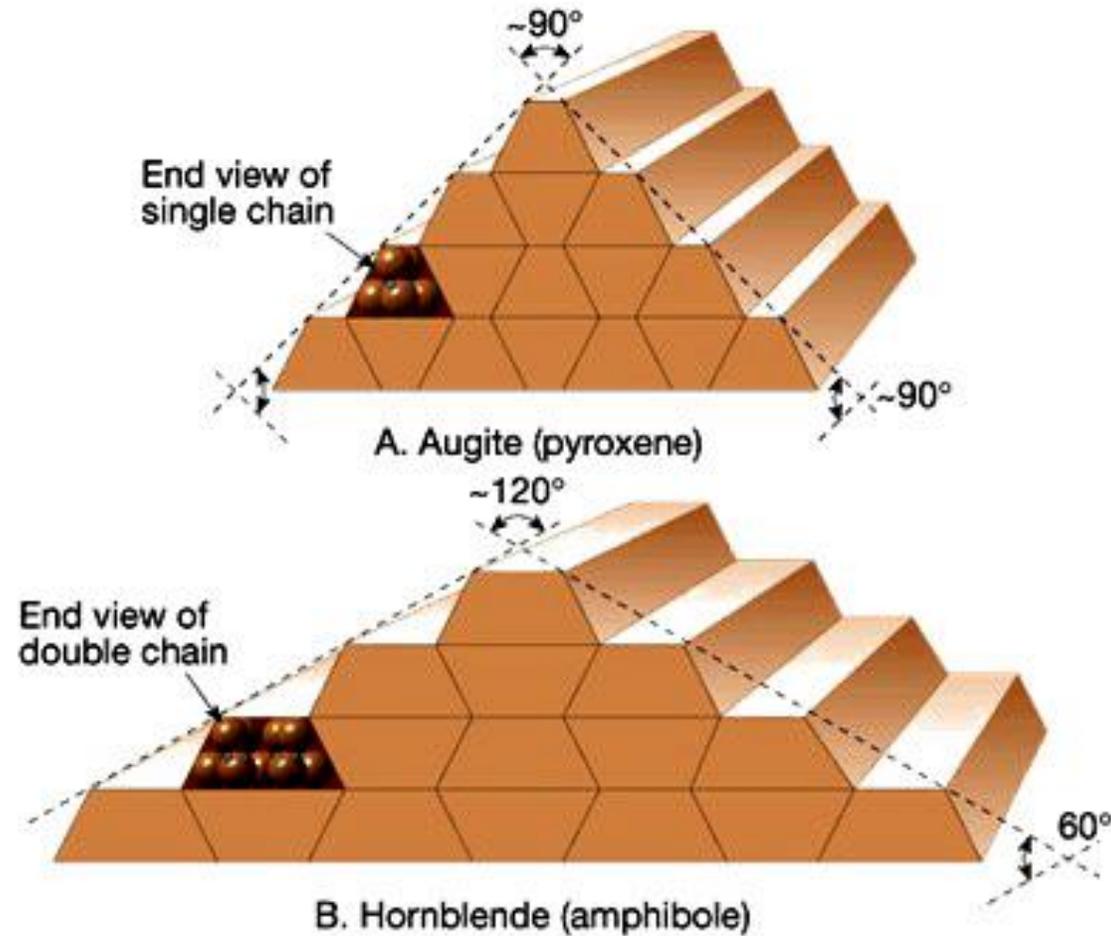
Inosilicatos

Los enlaces entre los átomos dentro de una cadena son mucho más fuertes que los enlaces entre cadenas y otros cationes: habrá **exfoliación**.



Inosilicatos

Los enlaces entre los átomos dentro de una cadena son mucho más fuertes que los enlaces entre cadenas y otros cationes: habrá **exfoliación**.

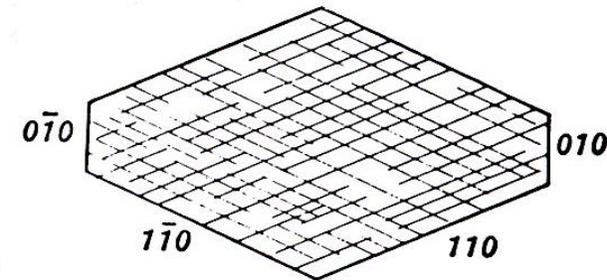
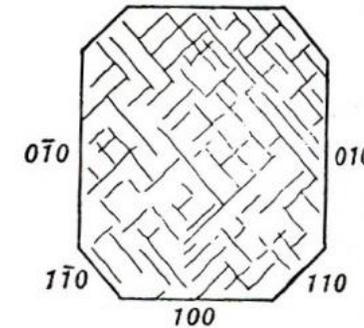


Criterios para distinguir entre piroxenos y anfíboles

- Los cristales de piroxeno presentan formas de prismas gruesos, mientras que los anfíboles tienden a formar cristales alargados de tipo acicular.

- La sección basal de los piroxenos es octagonal (cuadrada con los vértices truncados). La sección basal de los anfíboles es un hexágono aplastado.

- La exfoliación de los piroxenos es $\sim 90^\circ$ (pseudotetragonal). La exfoliación de los anfíboles es $\sim 60^\circ$ y $\sim 120^\circ$ (pseudoheptagonal).



Inosilicatos de cadena sencilla

Inosilicatos de cadena simple: piroxenos

Familias isomorfas complejas



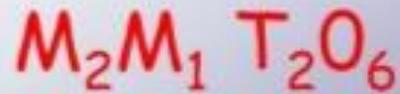
M2	coordinación octaédrica	Mg, Fe ²⁺ , (Mn, Ca, Na)
	coordinación cúbica	Ca, Na, (Mg, Fe ²⁺ , Mn)
M1	coordinación octaédrica	Mg, Fe ²⁺ , (Mn), Al, Fe ³⁺ , Cr, Ti ⁴⁺
T	coordinación tetraédrica	Si, Al (Max %Al ^{IV} =15%)

M2, M1 y T son sitios cristalográficos en los cuales los elementos químicos tienen preferencia de ocupar espacios dentro de la estructura cristalina del mineral. Muchos elementos solo ocupan un sitio (por ejemplo el Si) y forman solo un tipo de coordinación: tetraédrica, mientras que otros pueden ocupar más de un sitio cristalográfico (ejemplo el Al: en coordinación tetraédrica y octaédrica).

PIROXENOS

- Inosilicatos de cadenas simples.
- Son anhidros y de alta temperatura.

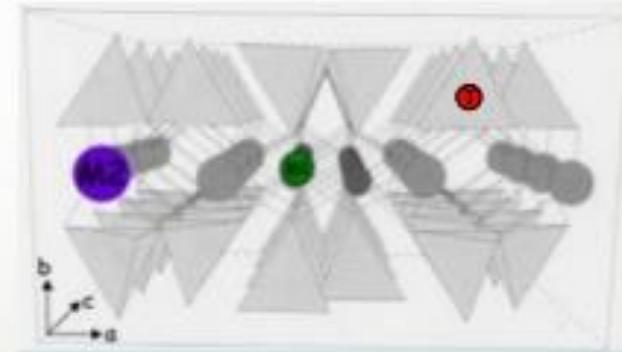
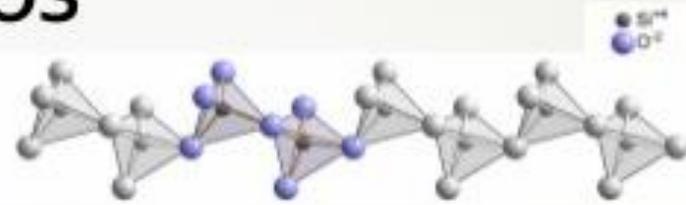
Fórmula general de los piroxenos



Cationes grandes en NC=8 o cationes medianos en NC=6

Cationes pequeños o medianos en NC=6

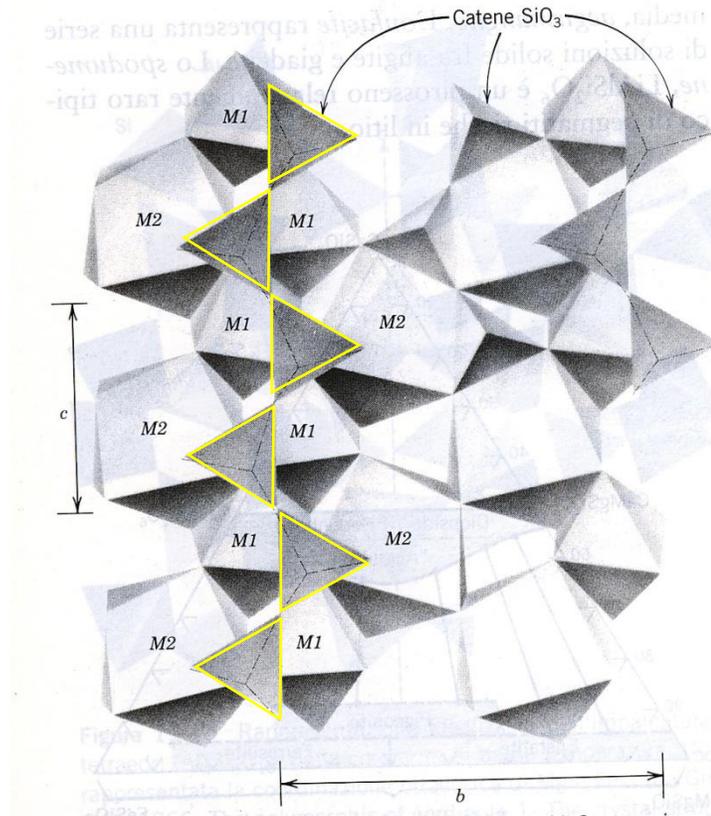
Si ó Al en coordinación tetraédrica NC=4



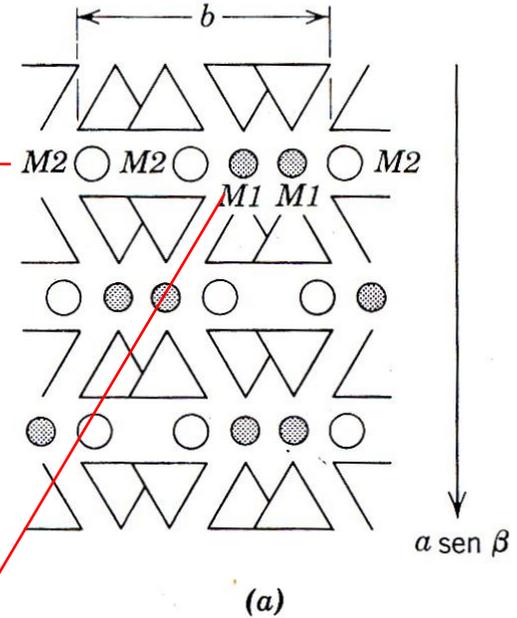
Tetraedro: Si⁴⁺, Al³⁺, Fe³⁺
Hueco M1: Al³⁺, Fe³⁺, Ti⁴⁺, Cr³⁺, V³⁺, Ti³⁺, Zr⁴⁺, Mg, Fe²⁺, Mn²⁺

Hueco M2: Mg²⁺, Fe²⁺, Mn²⁺, Li⁺, Ca²⁺, Na⁺.

Inosilicatos de cadena simple: piroxenos



Cationes en
posición
octaédrica
Y cúbica



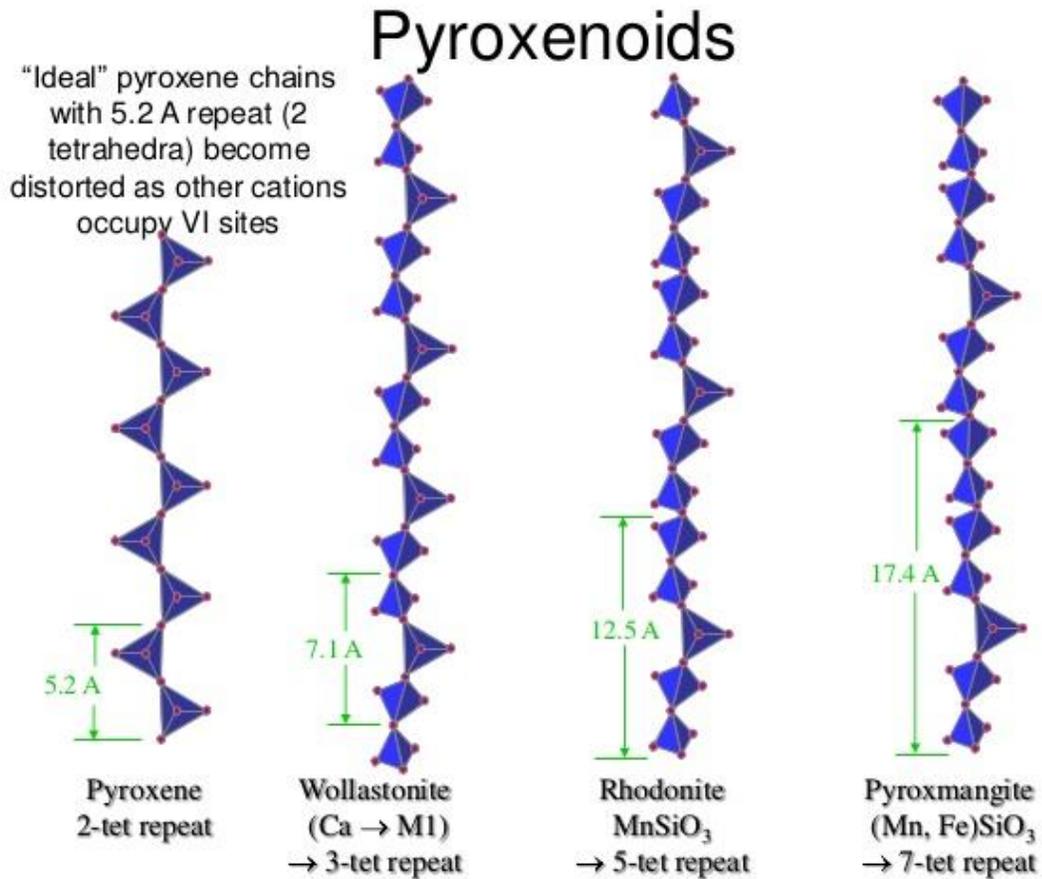
Cationes en
posición
octaédrica

Inosilicatos de cadena simple: piroxenoides

A lo largo del eje c, el número de tetraedros en el patrón de repetición puede variar.

Si son dos los tetraedros repetidos, el inosilicato de cadena sencilla es un **piroxeno**. Si son más de dos, son **piroxenoides**.

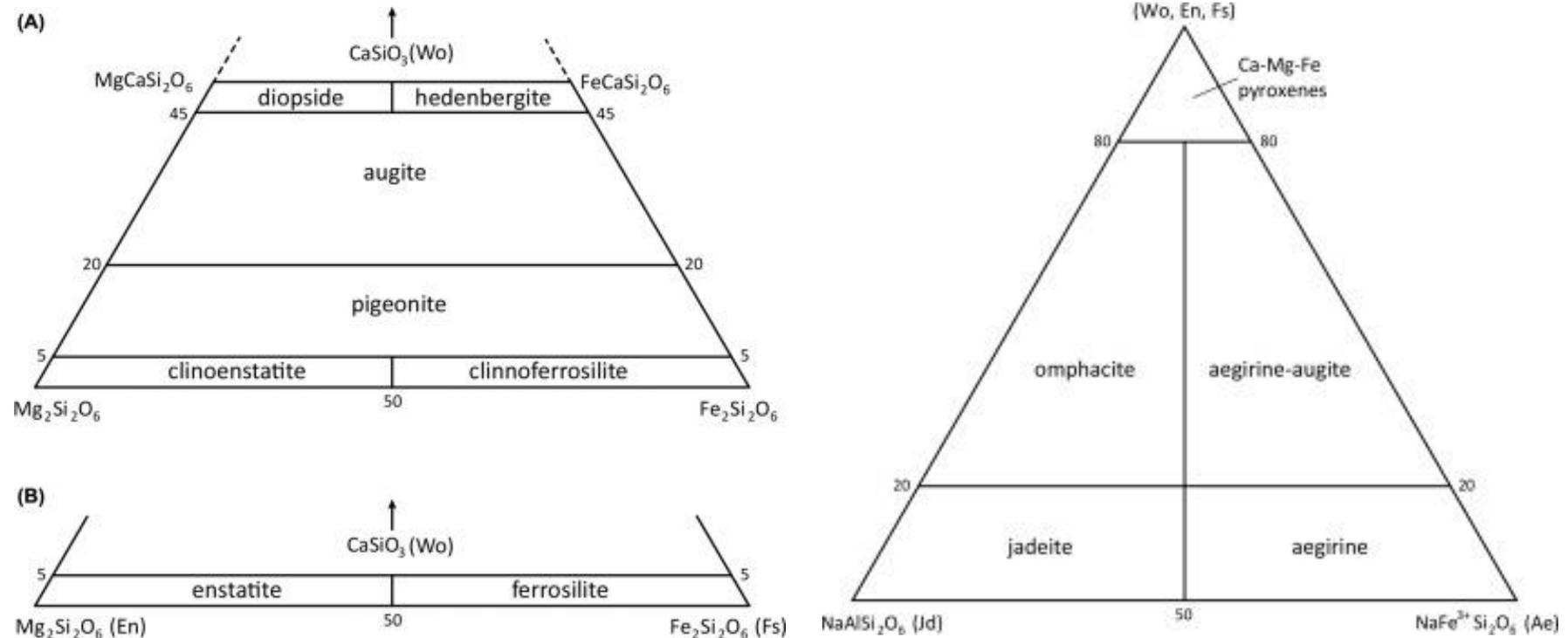
Los piroxenos son los inosilicatos de cadena sencilla más comunes.



Inosilicatos de cadena simple: composición

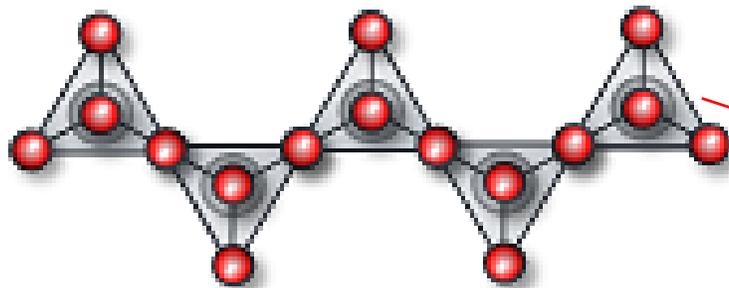
Por su composición química, los piroxenos se pueden dividir en dos grandes grupos:

- Piroxenos de cationes divalentes. Fórmula general: $M_2^{2+}Si_2O_6$. $M = Mg, Fe^{2+}, Ca$.
- Piroxenos alcalinos. Fórmula general: $NaM^{3+}Si_2O_6$. $M = Al, Fe^{3+}$.



Serie de soluciones sólidas en los composición

Enstatita $\text{MgMgSi}_2\text{O}_6$	<= solución sólida =>	(orto)Ferrosilita $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{2+}\text{Si}_2\text{O}_6$
Diópsido $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$	<= solución sólida =>	Hedenbergita $\text{CaFe}^{2+}\text{Si}_2\text{O}_6$
Jadeita $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$	<= solución sólida =>	Aegirina $\text{NaFe}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6$



Las cadenas tienen el anión básico $(\text{SiO}_3)^{2-}$ porque los tetraedros tienen cuatro oxígenos pero dos son compartidos: $2 + 2 \cdot 1/2 = 3$.

Inosilicatos de cadena simple: composición

Los términos de la serie isomorfa completa: **enstatita – ferrosilita** (M2 en coordinación octaédrica) **son rómbicos**

Los términos de las serie isomorfas completas: **diópsido – hedenbergita y jadeita - aegirina** (M2 en coordinación cúbica) **son monoclinicos**

Las series **diópsido – hedenbergita y jadeita - aegirina** forman una única y gran familia isomorfa; hablamos de

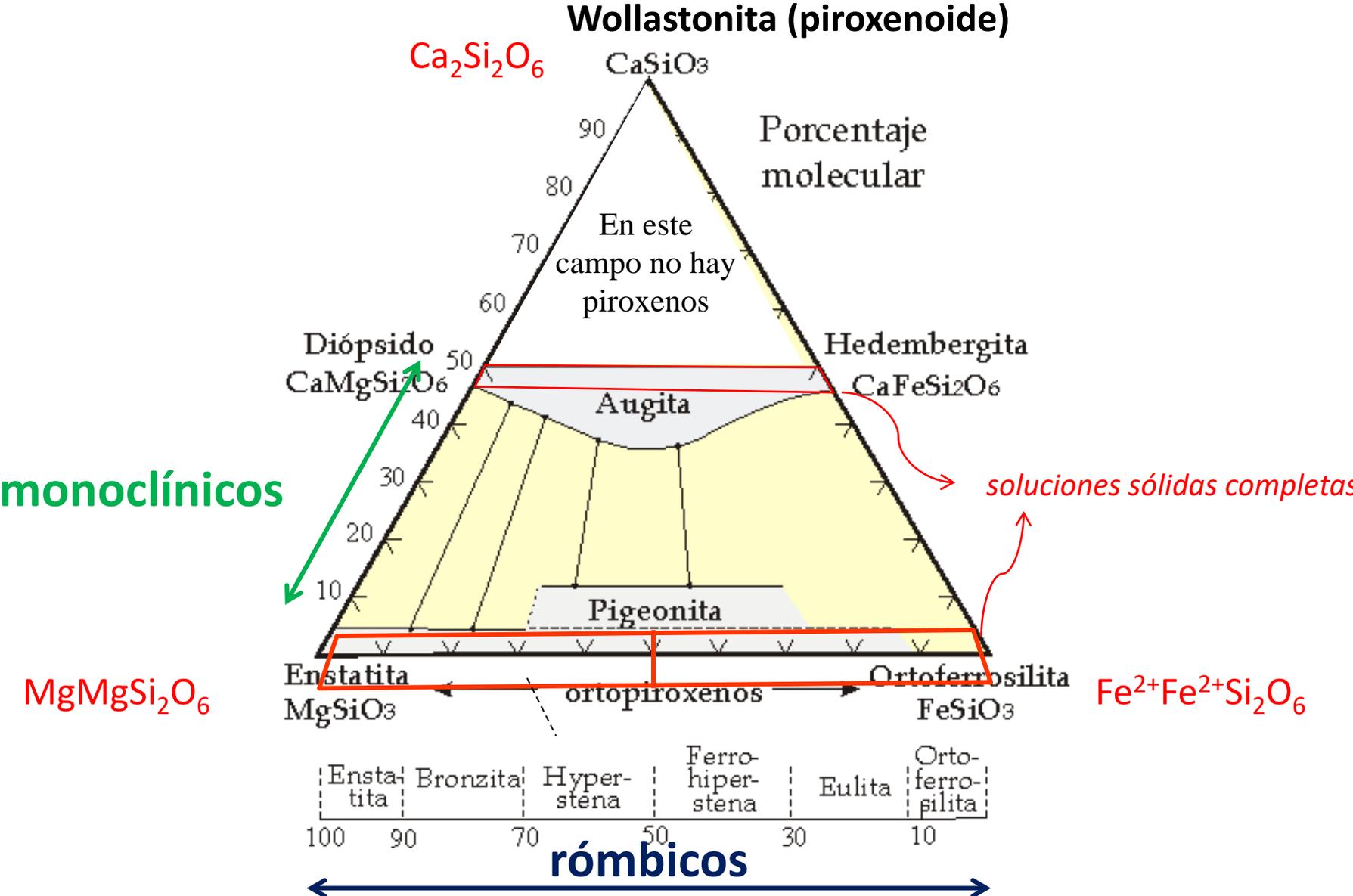
Augitas = cuando prevalece el **Ca** en M2 y **Mg/Fe²⁺** en M1

Piroxenos alcalinos = cuando prevalece el **Na** en M2 y **Al/Fe³⁺** en M1

Tantos las augitas como los piroxenos alcalinos están caracterizados por la sustitución entre **Si → Al** en el tetraedro.

Entre las series enstatita-ferrosilita y diópsido-hedenbergita no hay solución sólida, sino exsolución, salvo por la augita y la pigeonita.

Inosilicatos de cadena simple: composición

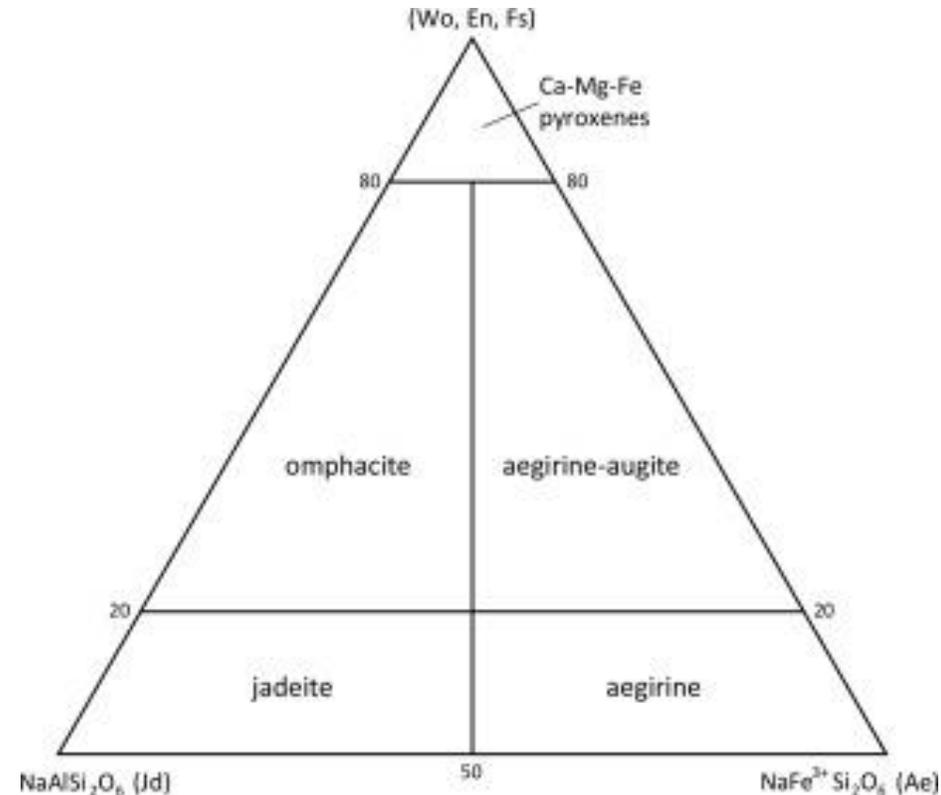


Inosilicatos de cadena simple: composición

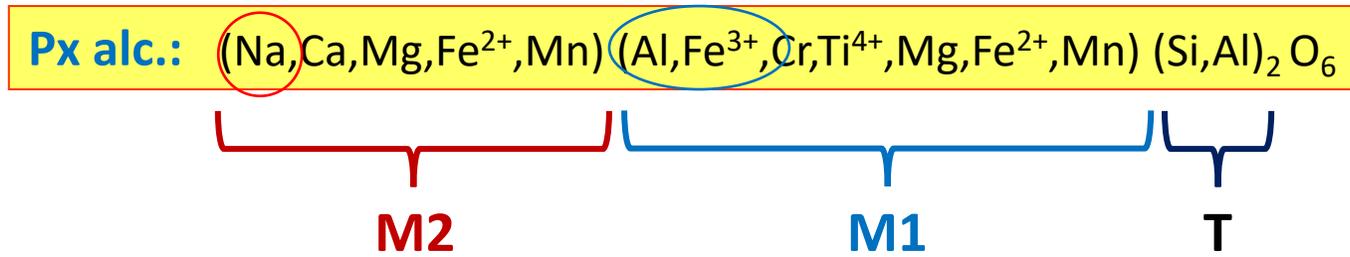
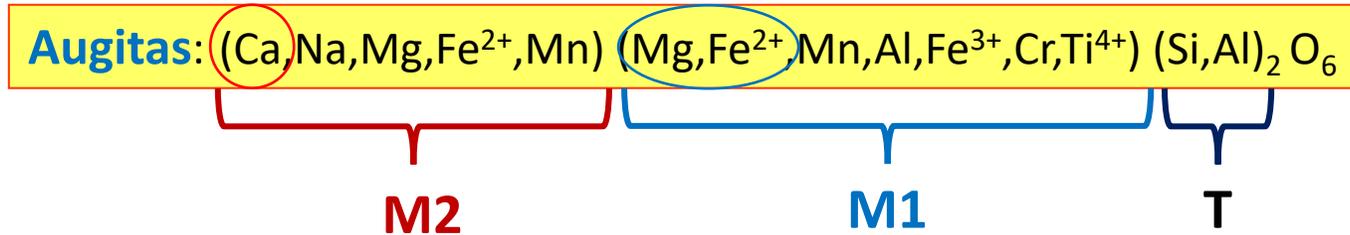
Si el piroxeno tiene menos de 20% Na_2O molar, es un **piroxeno de cationes divalentes** (normal).

Si el piroxeno tiene más de 20% Na_2O molar, es un **piroxeno alcalino**.

Hay isomorfismo entre diópsido-hedenbergita y jadeíta-aegirina por la sustitución aparejada:



Inosilicatos de cadena simple: composición



Inosilicatos de cadena simple: composición

American Mineralogist, Volume 73, pages 1123–1133, 1988

Nomenclature of pyroxenes

Subcommittee on Pyroxenes

Commission on New Minerals and Mineral Names

International Mineralogical Association

N. MORIMOTO, Chairman

Department of Geology and Mineralogy, Kyoto University, Kyoto 606, Japan

Subcommittee Members

J. FABRIES (France), **A. K. FERGUSON** (Australia) **I. V. GINZBURG** (USSR), **M. ROSS** (U.S.A.),
F. A. SEIFERT (Germany), **J. ZUSSMAN** (U.K.)

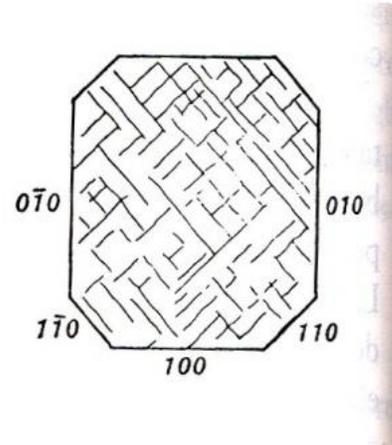
Nonvoting Members

K. AOKI (Japan), **G. GOTTARDI** (Italy)

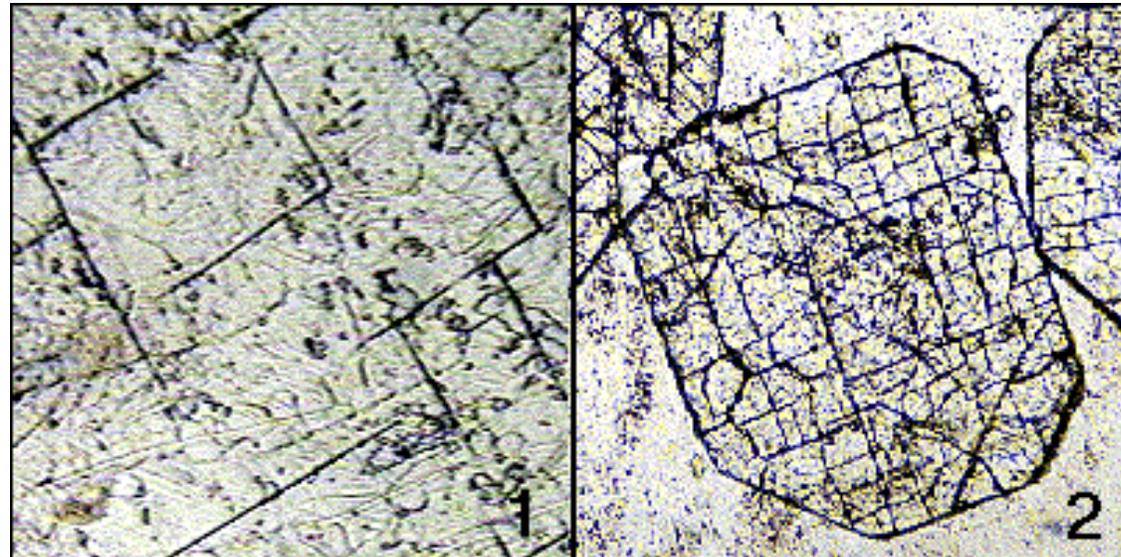
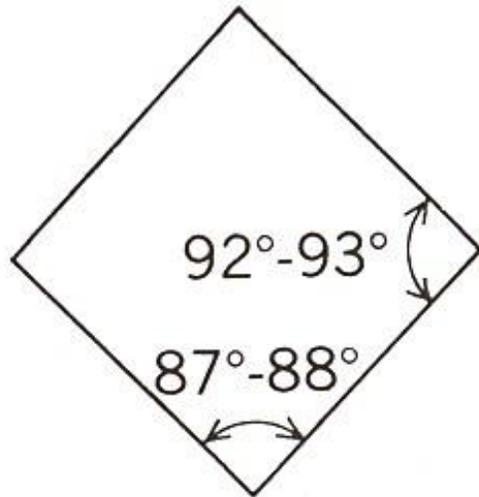
ABSTRACT

This is the final report on the nomenclature of pyroxenes by the Subcommittee on Pyroxenes established by the Commission on New Minerals and Mineral Names of the International Mineralogical Association. The recommendations of the Subcommittee as put forward in this report have been formally accepted by the Commission. Accepted and widely used names have been chemically defined, by combining new and conventional methods, to agree as far as possible with the consensus of present use. Twenty names are formally accepted, among which thirteen are used to represent the end members of definite chemical compositions. In common binary solid-solution series, species names are given to the two end members by the "50% rule." Adjectival modifiers for pyroxene mineral names are defined to indicate unusual amounts of chemical constituents. This report includes a list of 105 previously used pyroxene names that have been formally discarded by the Commission.

Inosilicatos de cadena simple: piroxenos



Exfoliación de los Piroxenos. Recta, pseudotetragonal



Inosilicatos de cadena simple: piroxenos

Ortopiroxenos: serie **enstatita-ferrosilita** rómbica (Pbca) H=5.5-6.0
(Mg,Fe²⁺) (Mg,Fe²⁺) Si₂O₆ Psp=3.2-4.0 (da En a Fs)

Forma: Cristales prismáticos raros, generalmente masivos.



Propiedades: Traslúcidos, brillo vítreo, de amarillo a gris, verde, pardo de En a Fs, exfoliación prismática buena.

ORTOPIROXENOS: Tienen extinción paralela

Química: Solución completa entre En-Fs; pueden tener pequeñas cantidades de Ca y Na en M2, iones trivalentes en M1 y Al en el tetraedro.

Origen: Típico de rocas básicas y ultrabásicas y metamórficas de alto grado.

Usos: Gema de importancia secundaria

Inosilicatos de cadena simple: piroxenos

Enstatita acicular



Inosilicatos de cadena simple: piroxenos

Clinopiroxenos: serie **diópsido-hedenbergita** monoclinica
 $\text{Ca (Mg,Fe}^{2+}) \text{Si}_2\text{O}_6$ Psp=3.2-3.8 (da Di a Hd)

Forma: Cristales prismáticos, a veces aciculares o masivos



Propiedades: De transparente a traslúcidos, brillo vítreo, de blancos a verde claro, verde oscuro, pardo de Di a Hd. Buena exfoliación prismática.

CLINOPIROXENOS: Tienen extinción inclinada u oblicua

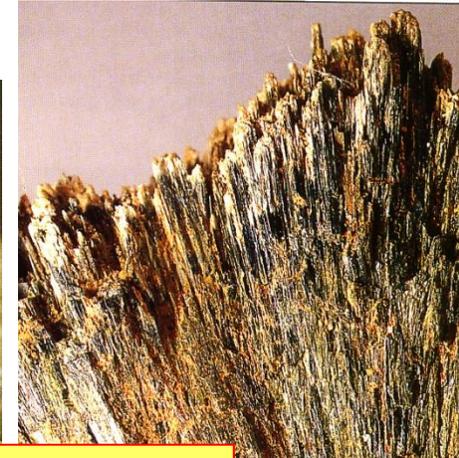
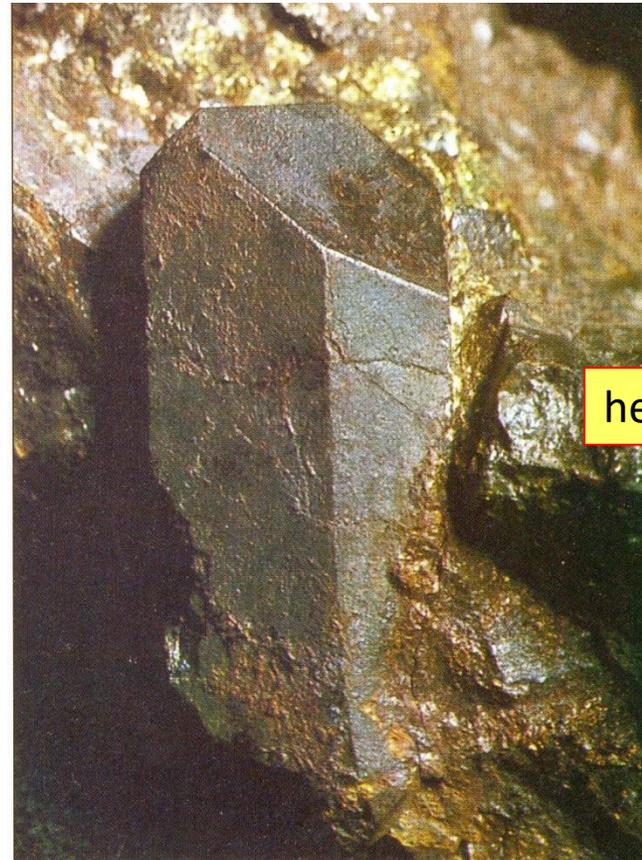
Química: Solución completa entre Di-Hd;
A través de las sustituciones $\text{Ca} \rightarrow \text{Na}$, $(\text{Mg,Fe}^{2+}) \rightarrow (\text{Al,Fe}^{3+})$, $\text{Si} \rightarrow \text{Al}$ podemos obtener una solución completa con piroxenos alcalinos, a través de las augitas y aegirina-augitas

Origen: Típico de rocas magmáticas básicas y ultrabásicas y metamórficas, tanto regionales como de contacto

Usos: Gema (diópsido transparente)

Inosilicatos de cadena simple: piroxenos

diópsido



hedenbergita

Inosilicatos de cadena simple: piroxenos

Clinopiroxenos: augitas monoclinicos $H=5.0-6.0$ $Psp=3.2-3.4$
(Ca,Na,Mg,Fe²⁺,Mn) (Mg,Fe²⁺,Mn,Al,Fe³⁺,Cr,Ti⁴⁺) (Si,Al)₂O₆

Forma: Cristales prismáticos achaparrados



Propiedades: Traslúcidos, brillo vítreo, negros, raya marrón claro, buena exfoliación prismática.

Química: Producto del amplio isomorfismo entre los piroxenos monoclinicos.

Origen: Típicos de rocas magmáticas básicas y ultrabásicas alcalinas

Inosilicatos de cadena simple: piroxenos



Inosilicatos de cadena simple: piroxenos

Clinopiroxenos alcalinos: serie **jadeita - aegirina** monoclinico 2/m (C2/c)
Na (Al,Fe³⁺) Si₂O₆ H=6.0-7.0Psp=3.3-3.6 (da Gd a Eg)

Forma: Cristales prismáticos elongados, a veces fibrosos (aegirina), en masas compactas o granulares (jadeitas)



Propiedades: De transparentes a traslúcidos, brillo vítreo, color de blanco a verde más o menos oscuro (jadeita), verde o pardo (aegirina), exfoliación prismática buena.

Química: Solución completa entre Jd-Aeg y con los términos augíticos

Origen: Típicos de rocas magmáticas alcalinas (aegirina) y metamórficas regionales (jadeita)

Usos: La jadeita es usada como gema

Inosilicatos de cadena simple: piroxenos

jadeita



aegirina



Inosilicatos de cadena simple: piroxenos

Espodumena $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$ monoclinico 2/m (C2/c) H=6.5-7.0 Psp=3.2

Forma: Cristales prismáticos aplanados, generalmente gruesos y con caras ásperas



Propiedades: Traslúcidos, brillo vítreo, de amarillo a gris, verde, blanco, rosado; exfoliación prismática buena

Origen: Rocas pegmatíticas ricas en Li

Usos: Gema y mena de Li

Inosilicatos de cadena simple: piroxenos

Espodumena



Inosilicatos de cadena simple: wollastonita

Wollastonita CaSiO_3

triclínica

H=5.0-5.5

Psp=2.8



Forma: acicular, fibroso, en fibras paralelas, a veces masivo

Origen: Mineral típico de metamorfismo por contacto

Propiedades: color blanco

Usos: Industria cerámica

Inosilicatos de cadena doble

Inosilicatos de cadena doble: anfíboles

Familias isomorfas muy complejas



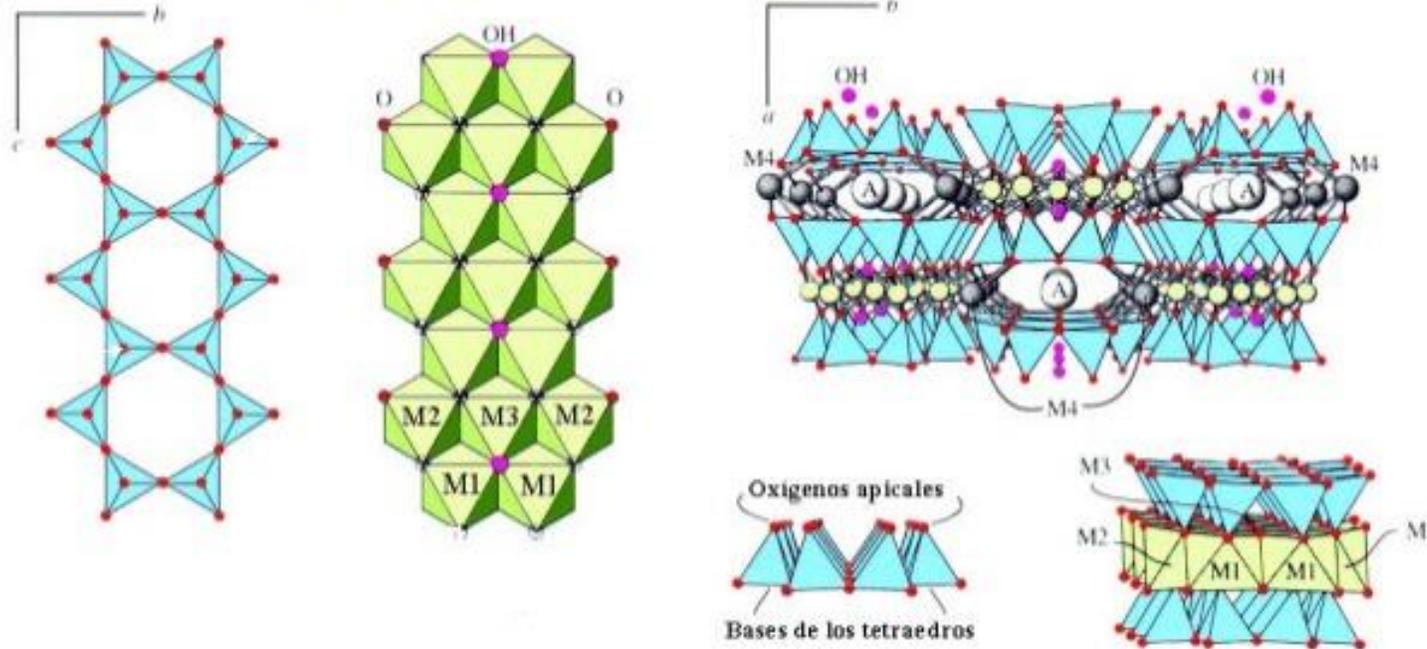
A	coordinación dodecaédrica	□, K, Na
X (2M4)	coordinación octaédrica	Mg, Fe ²⁺
	coordinación cúbica	Ca, Na
Y (2M1,2M2,M3)	coordinación octaédrica	Mg, Fe ²⁺ , Mn, Al, Fe ³⁺ , Cr, Ti ⁴⁺
T	coordinación tetraédrica	Si, Al (Max %Al ^{IV} =25%)

□ = vacante

Inosilicatos de cadena doble

Subclase: INOSILICATOS (grupo: ANFÍBOLES)

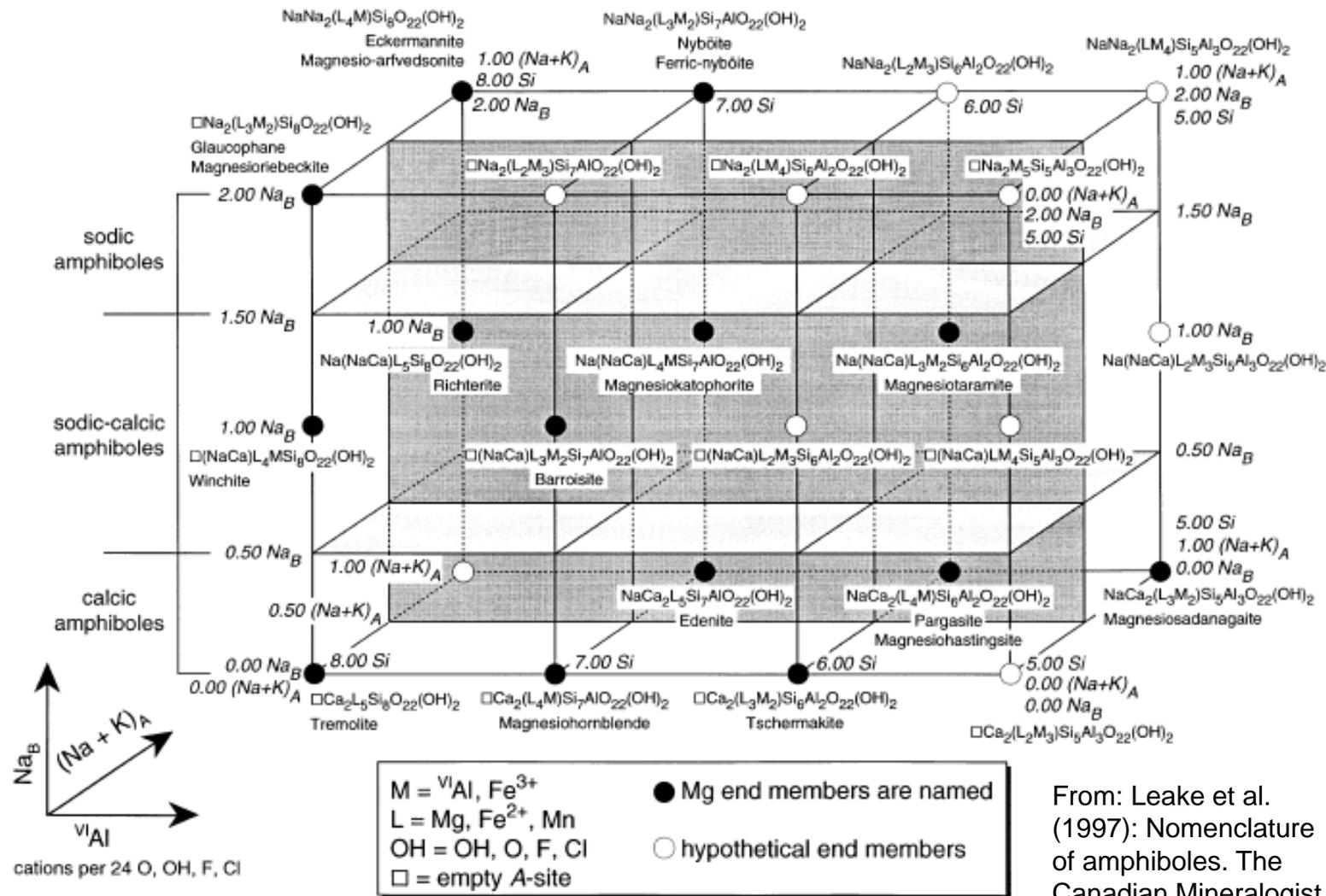
Grupo aniónico: $(\text{Si}_4\text{O}_{11})^{6-}$



En las cadenas dobles se pueden diferenciar dos tipos de tetraedros:

T1: Comparten 3 vértices con sus vecinos

T2: Comparten 2 vértices con los vecinos



From: Leake et al. (1997): Nomenclature of amphiboles. The Canadian Mineralogist 35, 219-246.

FIG. 1. General classification of the amphiboles, excluding the Mg-Fe-Mn-Li amphiboles.

Múltiples soluciones sólidas entre varios elementos, debido a los muchos huecos (M1, M2, M3, M4, A) => mucha complejidad química.

Inosilicatos de cadena doble: anfíboles

Antofilita

Cummingtonita

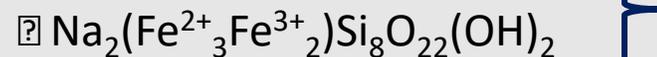
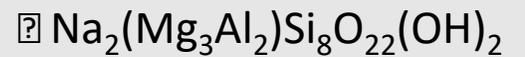
Grunerita

Tremolita

Fe-actinolita

Glaucofana

Riebeckita

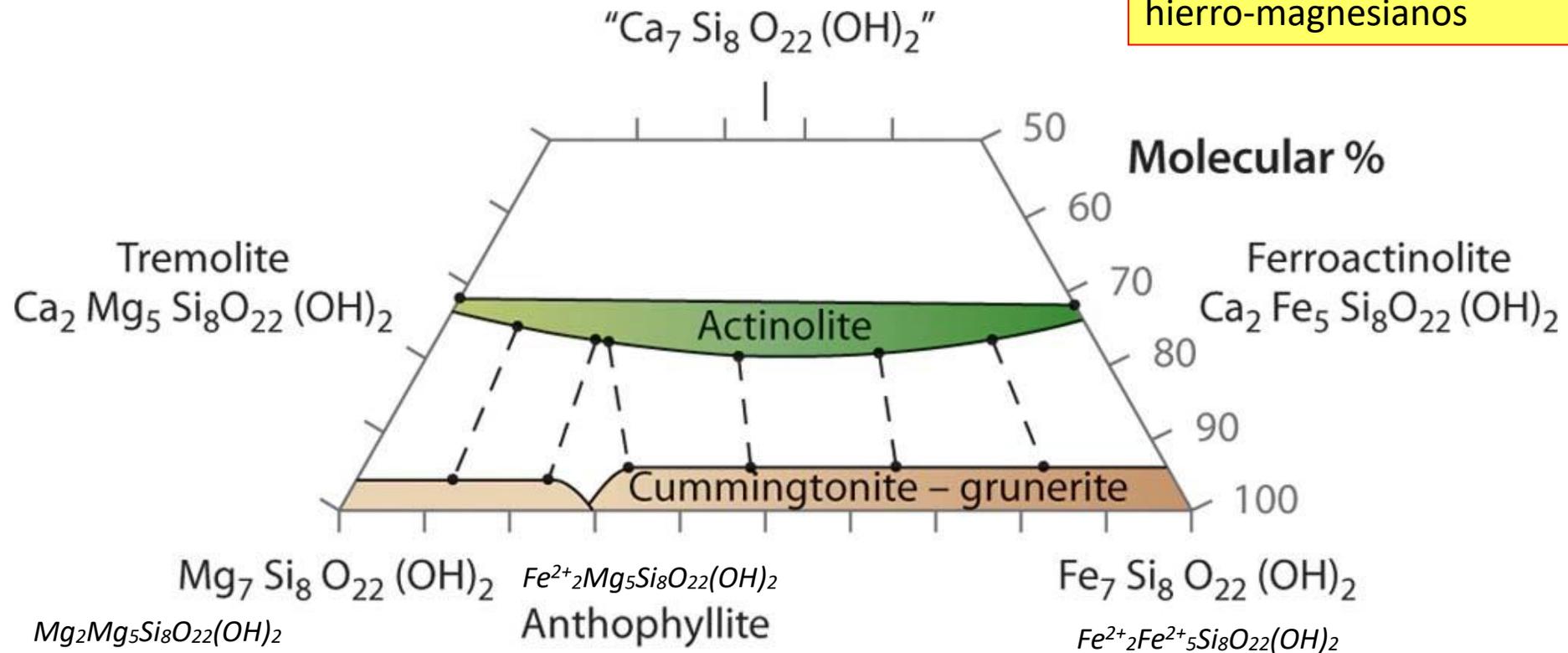


Soluciones sólidas completas entre **cummingtonita-grunerita**, **tremolita-Fe-actinolita** y **glaucofana-riebeckita**;

La antofilita (rómbrica) no se mezcla con los anfíboles de la serie cummingtonita-grunerita (monoclínicos)

Inosilicatos de cadena doble: anfíboles

isomorfismo entre anfíboles cálcicos y hierro-magnesianos



Inosilicatos de cadena doble: anfíboles

HORNBLENDAS:

Son productos de las soluciones sólidas entre las series cálcica (tremolita-Fe-actinolita) y sódica (glaucofana-riebeckita)



Anfibol = del griego, significa ambiguo, debido a la elevada variedad de formas

Inosilicatos de cadena doble: anfíboles

The Canadian Mineralogist
Vol. 35, pp. 219-246 (1997)

NOMENCLATURE OF AMPHIBOLES: REPORT OF THE SUBCOMMITTEE ON AMPHIBOLES OF THE INTERNATIONAL MINERALOGICAL ASSOCIATION, COMMISSION ON NEW MINERALS AND MINERAL NAMES

BERNARD E. LEAKE¹ (Chairman)

Department of Geology and Applied Geology, University of Glasgow, Glasgow G12 8QQ, U.K.

ALAN R. WOOLLEY (Secretary)

Department of Mineralogy, Natural History Museum, Cromwell Road, London SW7 5BD, U.K.

CHARLES E.S. ARPS* (The Netherlands; retired December 1994)

WILLIAM D. BIRCH* (Australia; from January 1995)

M. CHARLES GILBERT (U.S.A.; resigned 1994)

JOEL D. GRICE (Canada; *from January 1995)

Mineral Sciences Division, Canadian Museum of Nature, P.O. Box 3443, Station D, Ottawa, Ontario K1P 6P4, Canada

FRANK C. HAWTHORNE

Department of Earth Sciences, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba R3T 2N2, Canada

AKIRA KATO

Department of Geology, Natural Science Museum, 2-23-1 Hyakanin-cho, Shinjuku, Tokyo 160, Japan

HANAN J. KISCH

Department of Geology and Mineralogy, Ben Gurion University of the Negev, P.O. Box 653, 84105 Beer Sheva, Israel

VLADIMIR G. KRIVOVICHEV

Faculty of Geology, St. Petersburg University, University Emb. 7/9, 199034 St. Petersburg, Russia

KEES LINTHOUT

*Department of Ore Geology, Petrology and Mineralogy, Institute of Earth Sciences, Free University,
De Boelelaan 1085, 1081 HV Amsterdam, The Netherlands*

JO LAIRD

*Department of Earth Sciences, College of Engineering and Physical Sciences, University of New Hampshire,
Durham, New Hampshire 03824, U.S.A.*

JOSEPH A. MANDARINO* (Canada; retired December 1994)

WALTER V. MARESCH

Institut für Mineralogie, Ruhr-Universität Bochum, D-44780 Bochum, Germany

ERNEST H. NICKEL* (Australia)

NICHOLAS M.S. ROCK (Australia; died February 1992)

JOHN C. SCHUMACHER

*Institut für Mineralogie-Petrologie-Geochemie der Albert-Ludwigs Universität zu Freiburg, Albertstrasse 23b,
D-79104 Freiburg, Germany*

DAVID C. SMITH (France; resigned 1994)

NICK C.N. STEPHENSON

Department of Geology and Geophysics, University of New England, Armidale, New South Wales 2351, Australia

LUCIANO UNGARETTI (Italy; resigned April 1993)

ERIC J.W. WHITTAKER

60 Exeter Road, Kidlington, Oxford OX5 2DZ, U.K.

GUO YOUZHI

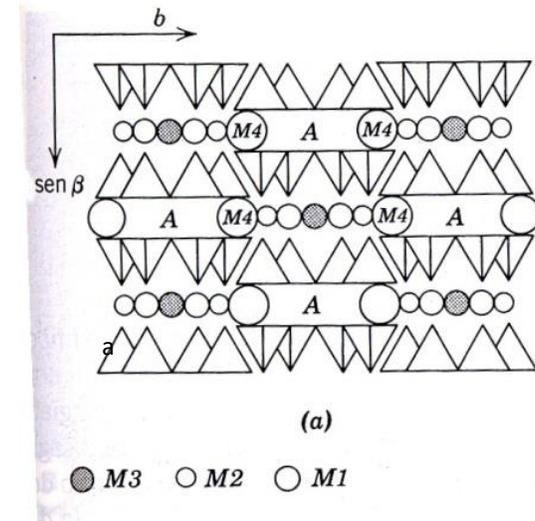
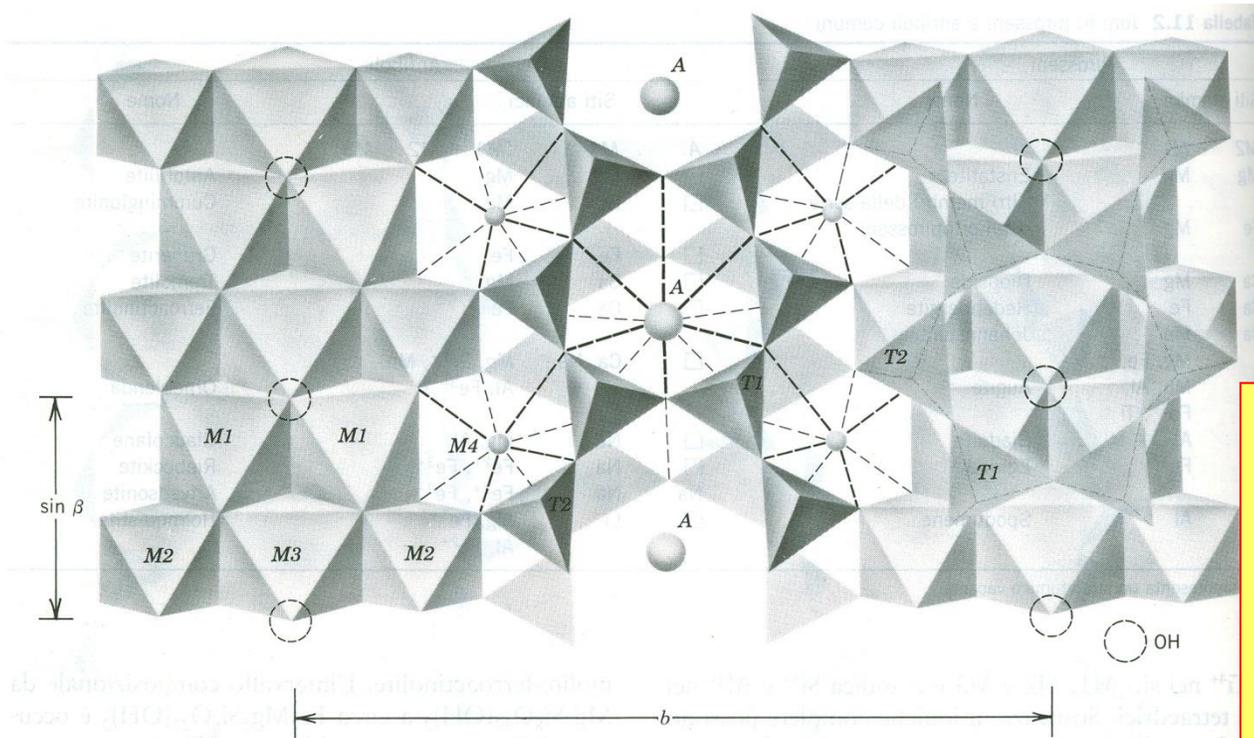
Central Laboratory, Bureau of Geology and Mineral Resources of Hunan Province, Dashiba, Kunning, P.R. China

* Indicates a nonvoting official of the CNMNM.

¹ E-mail address: bel@geology.gla.ac.uk

Inosilicatos de cadena doble: anfíboles

estructura de los anfíboles



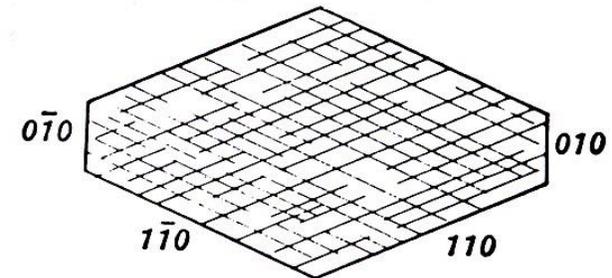
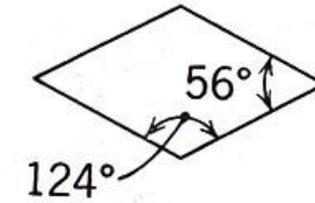
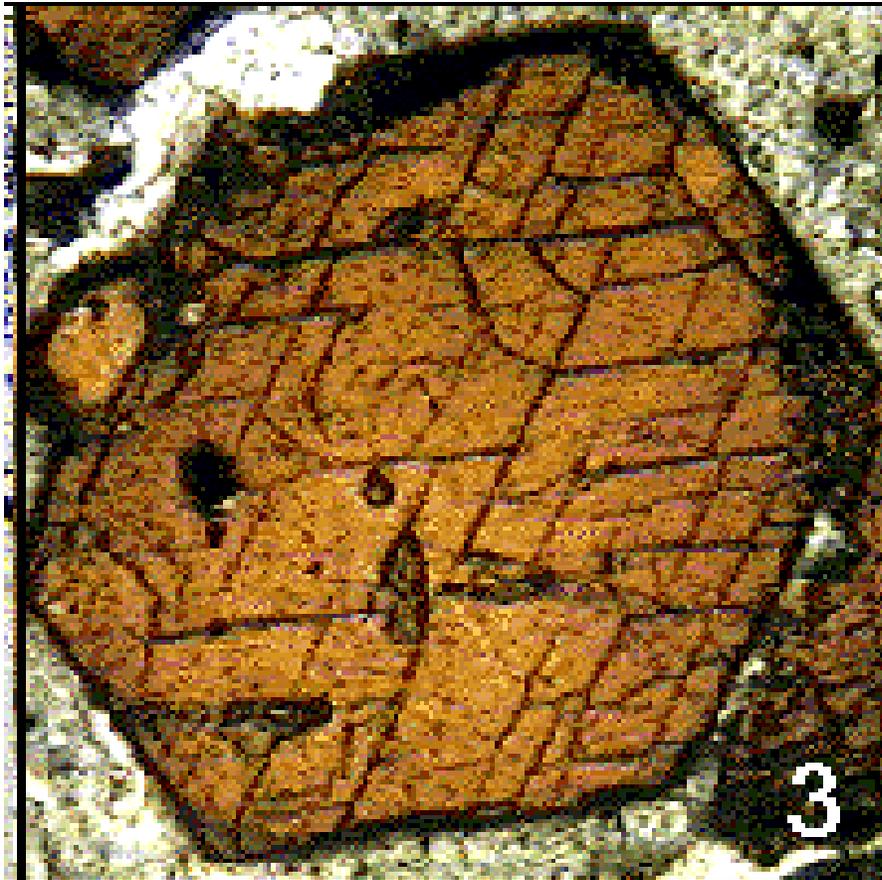
M1, M2, M3: coordinación octaédrica

M4: Coordinación octaédrica y cúbica

A: coordinación dodecaédrica

Inosilicatos de cadena doble: anfíboles

Exfoliación en los anfíboles.
Pseudo-hexagonal



Inosilicatos de cadena doble: anfíboles

Anfíboles: antofilita



rómbica $m m m$ (Pnma) H=5.5-6.0

Psp=2.9-3.2 (a seconda della quantità di Fe^{2+})

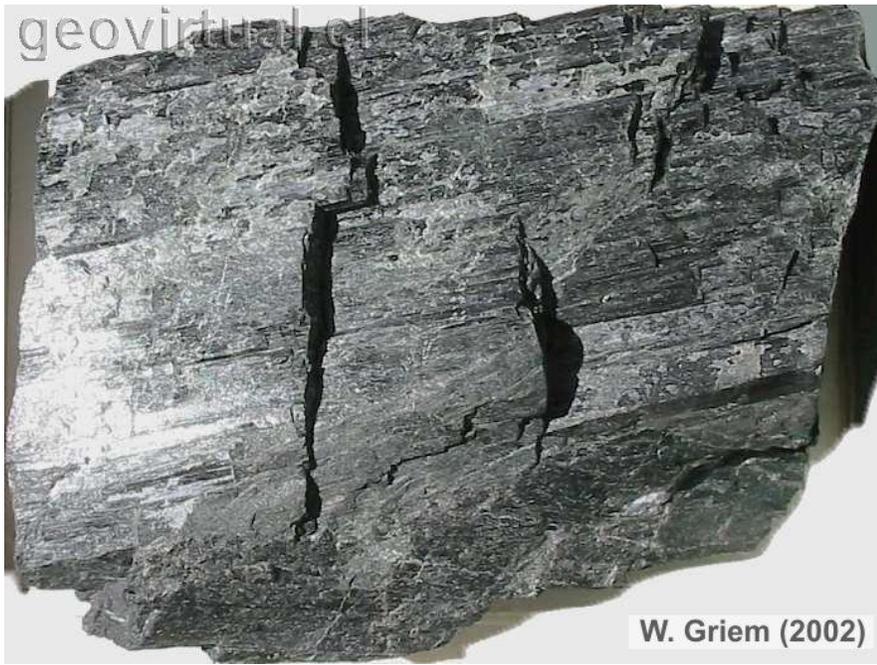
Forma: Cristales prismáticos raros, generalmente fibrosa o laminar

Propiedades: Traslúcida, brillo vítreo, color de gris a verde a pardo, si incrementamos el contenido en Fe^{2+} , exfoliación prismática perfecta

Química: Sustituciones completas entre $\text{Mg} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ en el sitio X;

Sustituciones parciales de $\text{Ca} \rightarrow \text{Na}$ en el sitio A y $(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}) \rightarrow (\text{Al}, \text{Fe}^{3+})$ en el sitio Y originan el término isomorfo **gedrita**

Origen: Minerales típicos de rocas metamórficas regionales



antofilita



Inosilicatos de cadena doble: anfíboles

Anfiboles: serie cummingtonita-grunerita monoclinica 2/m (C2/m) H=5.5-6.0
 $\text{Fe}^{2+}_2(\text{Mg},\text{Fe}^{2+})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ Psp=3.1-3.6

Forma: Cristales prismáticos raros, generalmente fibrosa o laminar

Propiedades: Traslúcida, brillo séricea, color pardo en varias tonalidades, exfoliación prismática perfecta

Química: Sustitución completa entre $\text{Mg} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ en el sitio Y, pero es también posible una sustitución entre $(\text{Mg},\text{Fe}^{2+}) \rightarrow \text{Mn}$ en el sitio X

Origen: Rocas metamórficas regionales

Inosilicatos de cadena doble: anfíboles



antofilita



cumingtonita



grunerita

Inosilicatos de cadena doble: anfíboles

Anfíboles: serie tremolita-Fe-actinolita monoclinico 2/m H=5.0-6.0 Psp=3.0-3.6
 $\text{Ca}_2(\text{Mg},\text{Fe}^{2+})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

Forma: Cristales prismáticos, a veces fibrosos o compactos



Propiedades: De traslúcida a transparente, brillo sériceo, color de blanco a verde tan intenso cuanto mayor sea la cantidad de Fe^{2+} , exfoliación prismática perfecta.

Química: Sustitución completa entre $\text{Mg} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ en el sitio Y, limitadas sustituciones de $\text{Ca} \rightarrow \text{Na}$ en X y $(\text{Mg},\text{Fe}^{2+}) \rightarrow (\text{Al},\text{Fe}^{3+})$ en el sitio Y (actinolitas)

Origen: Rocas metamórficas regionales y por contacto

Usos: Variedades transparentes como gemas

Inosilicatos de cadena doble: anfíboles

actinolita

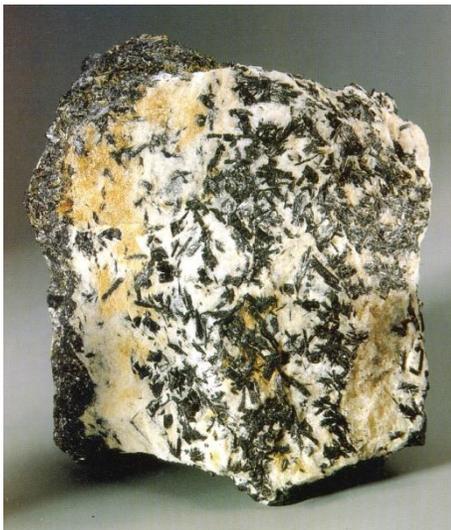


Inosilicatos de cadena doble: anfíboles

Anfíboles: serie glaucofana-riebeckita monoclinico 2/m (C2/m) H=5.0-6.0
 $\text{Na}_2[(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_3(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})_2]\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ Psp=3.0-3.3

Forma: Cristales prismáticos, a veces fibrosos o asbestiformes

Propiedades: Traslúcido, brillo seríceo, color de azul a negro dependiendo de la cantidad de Fe, exfoliación prismática perfecta.



Química: Soluciones sólidas entre los términos de (Mg-Fe²⁺) con los de términos de (Al-Fe³⁺) hasta una proporción de 3/2

Origen: Rocas metamórficas regionales

Inosilicatos de cadena doble: anfíboles



riebeckita variedad crocidolita



Glaucofana----azul!!!!

Inosilicatos a cadena doble: anfíboles

Anfíboles: hornblenda monoclinicos 2/m (C2/m) H=5.0-6.0 Psp=3.0-3.4
 $(\square, K, Na)(Ca, Na)_2(Mg, Fe^{2+}, Mn, Al, Fe^{3+}, Cr, Ti^{4+})_5(Si_{8-6}Al_{0-2})O_{22}(OH)_2$

Forma: Cristales prismáticos, a veces fibrosos o rayados

Propiedades: Traslúcido, brillo de vítreo a seríceo, color de verde oscuro a negro, exfoliación prismática perfecta



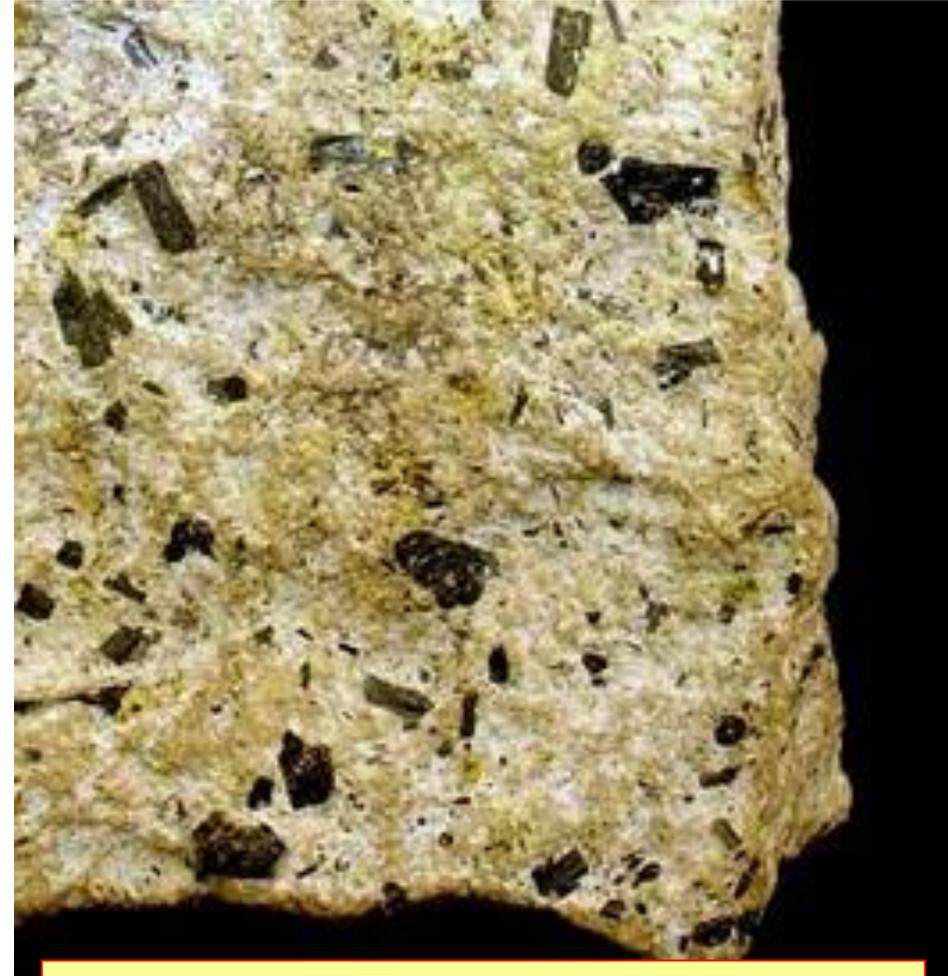
Química: Familia caracterizada por amplia variabilidad química:

Origen: el anfíbol más común en rocas magmáticas básicas e intermedias, y metamórficas regionales

Inosilicatos a cadena doble: anfíboles



hornblenda



Hornblenda en andesita. Prismas alargados

Inosilicatos de cadena doble: anfíboles

hornblenda



© Javier Mena Bayón