

CERÁMICOS

Julio Alberto Aguilar Schafer

TIPOS DE FORMACIONES GEOLÓGICA

- 1. Rocas magmáticas o igneas.**
- 2. Rocas sedimentarias:**
 - Químicas**
 - Físicas (Erosión y Sedimentación)**
- 3. Rocas metamórfica**

Roca ígnea

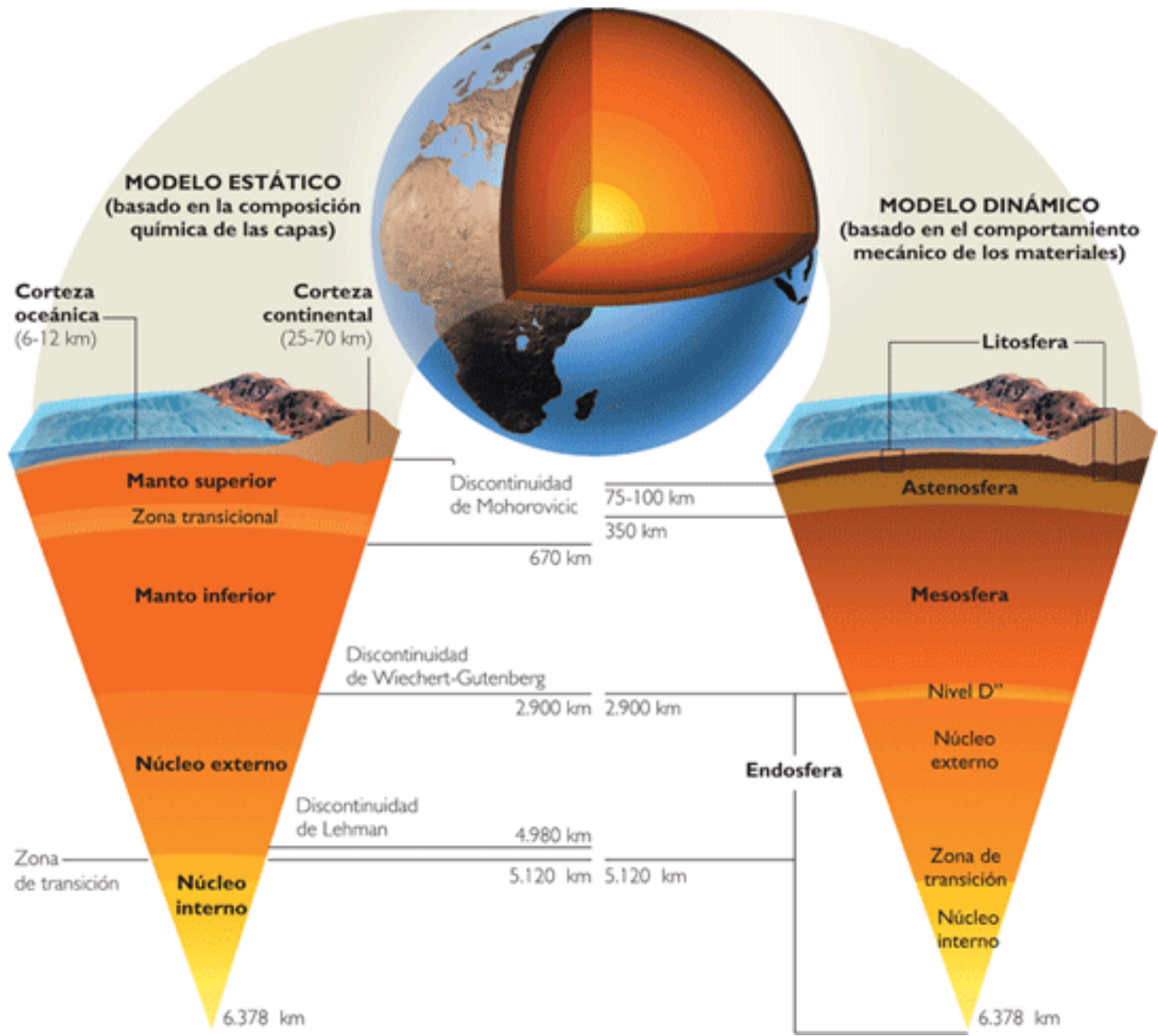


Roca sedimentaria



Roca metamórfica

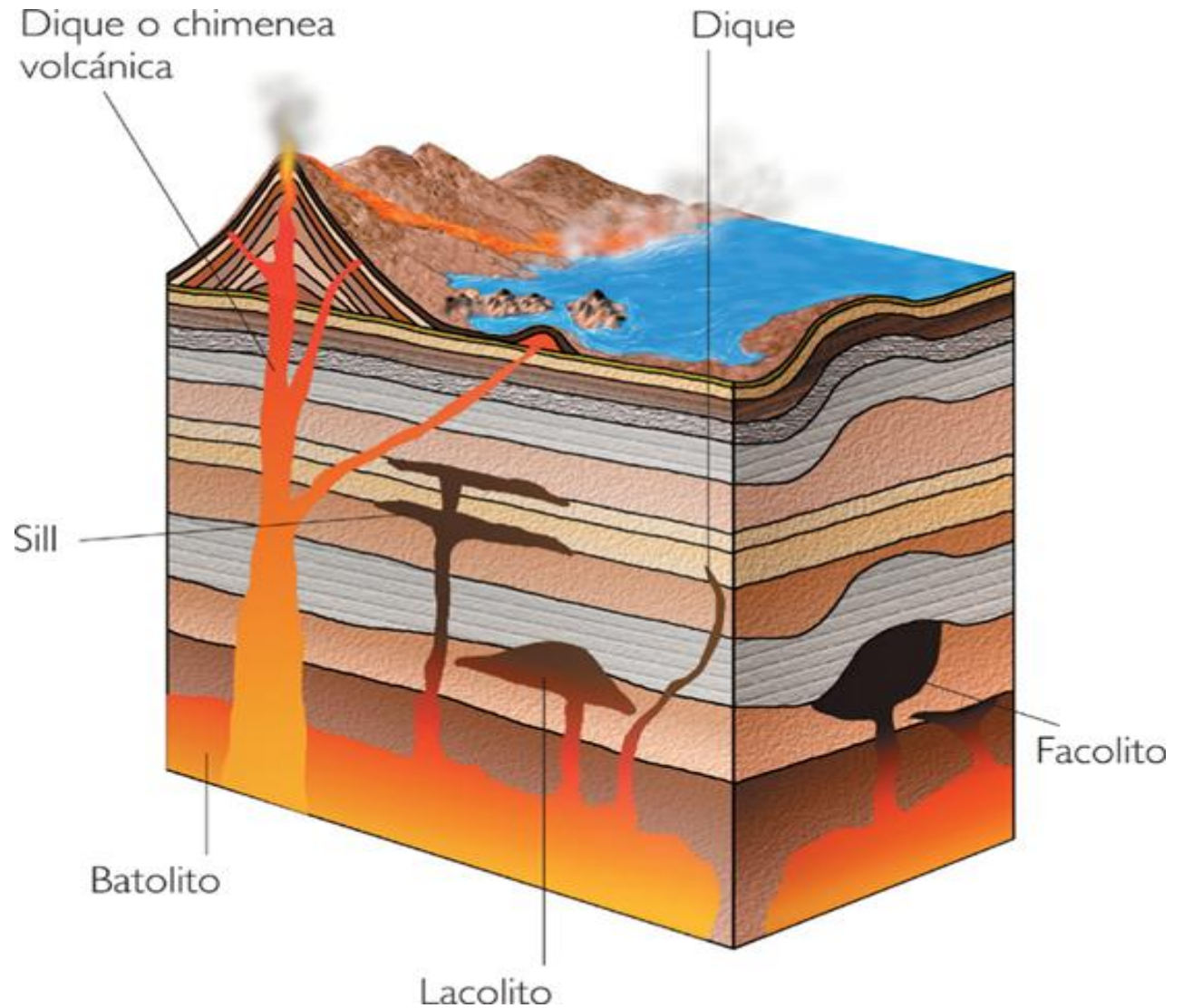




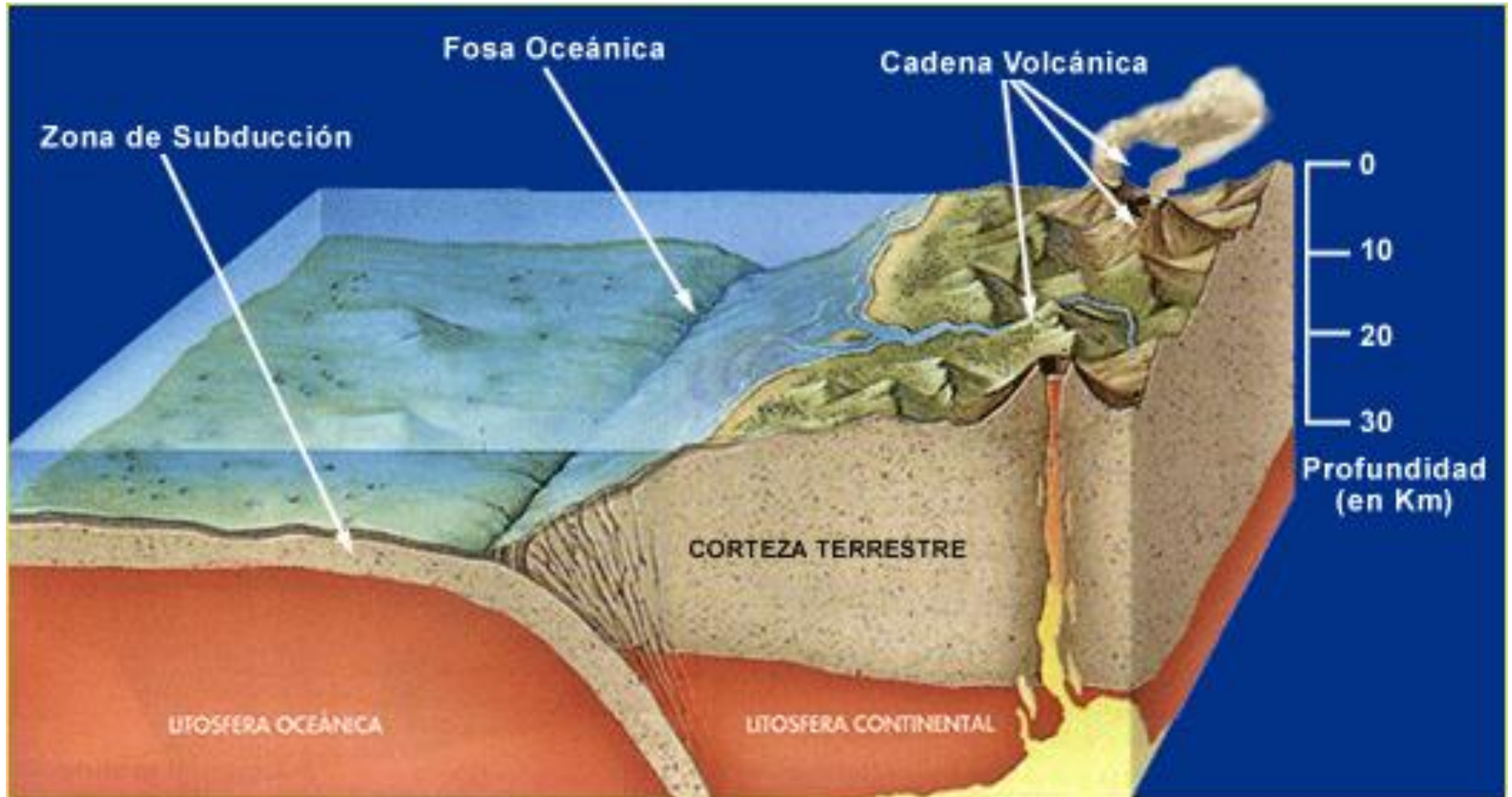
PROCESOS GEOLÓGICOS

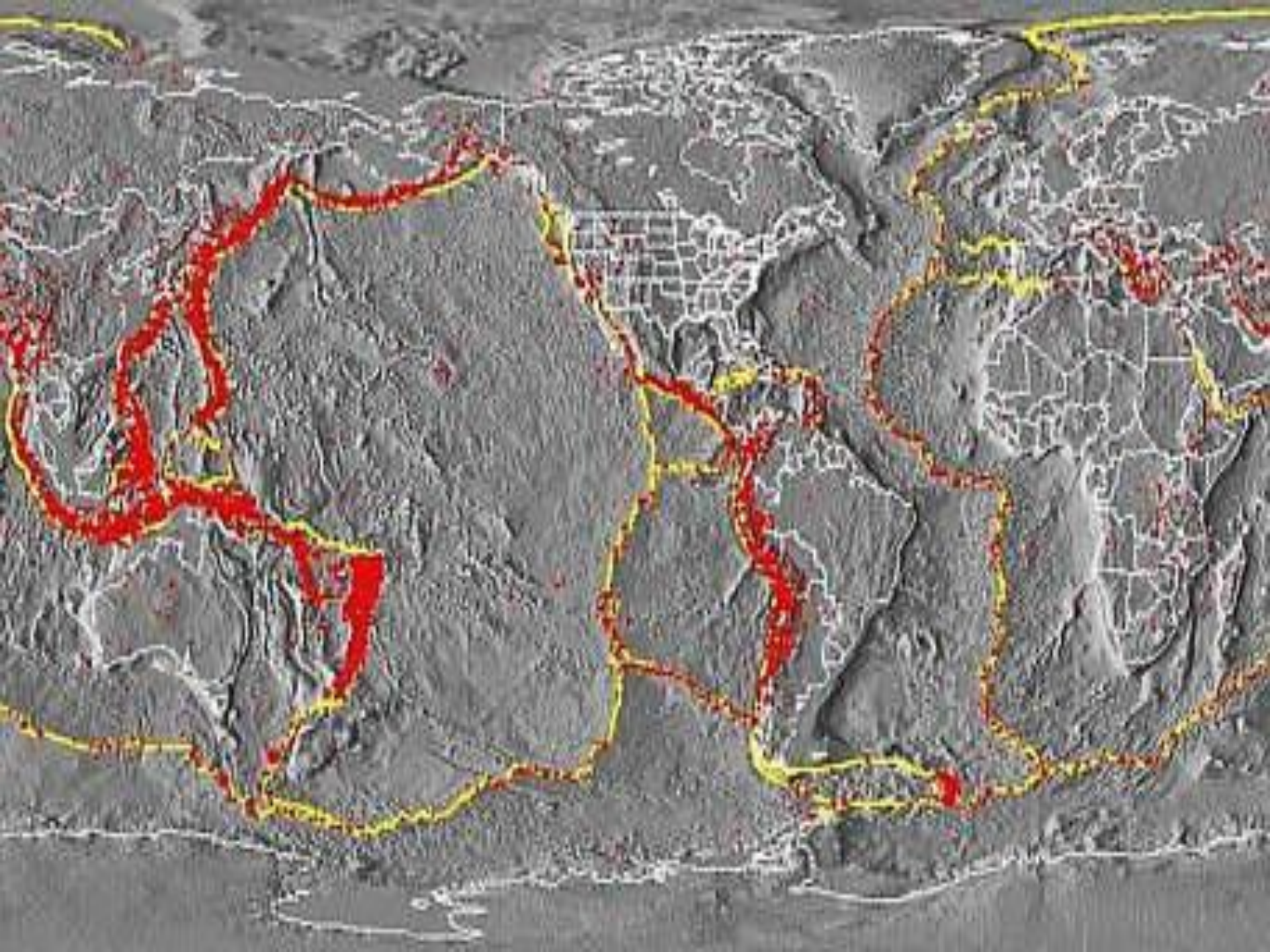
Procesos Ígneos

1. Plutonismo
2. Volcanismo



PROCESOS GEOLÓGICOS





Mapa geotectónico

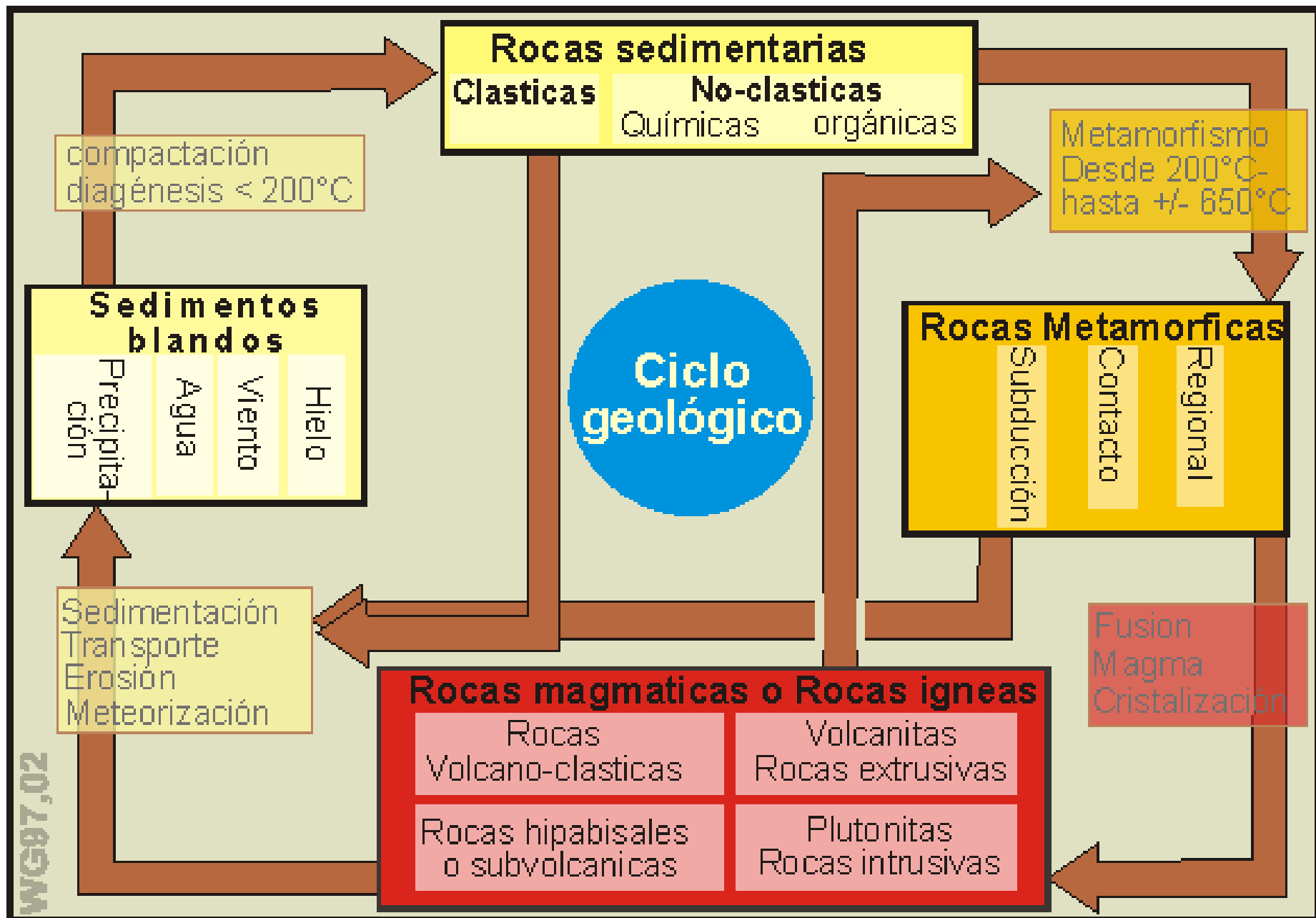


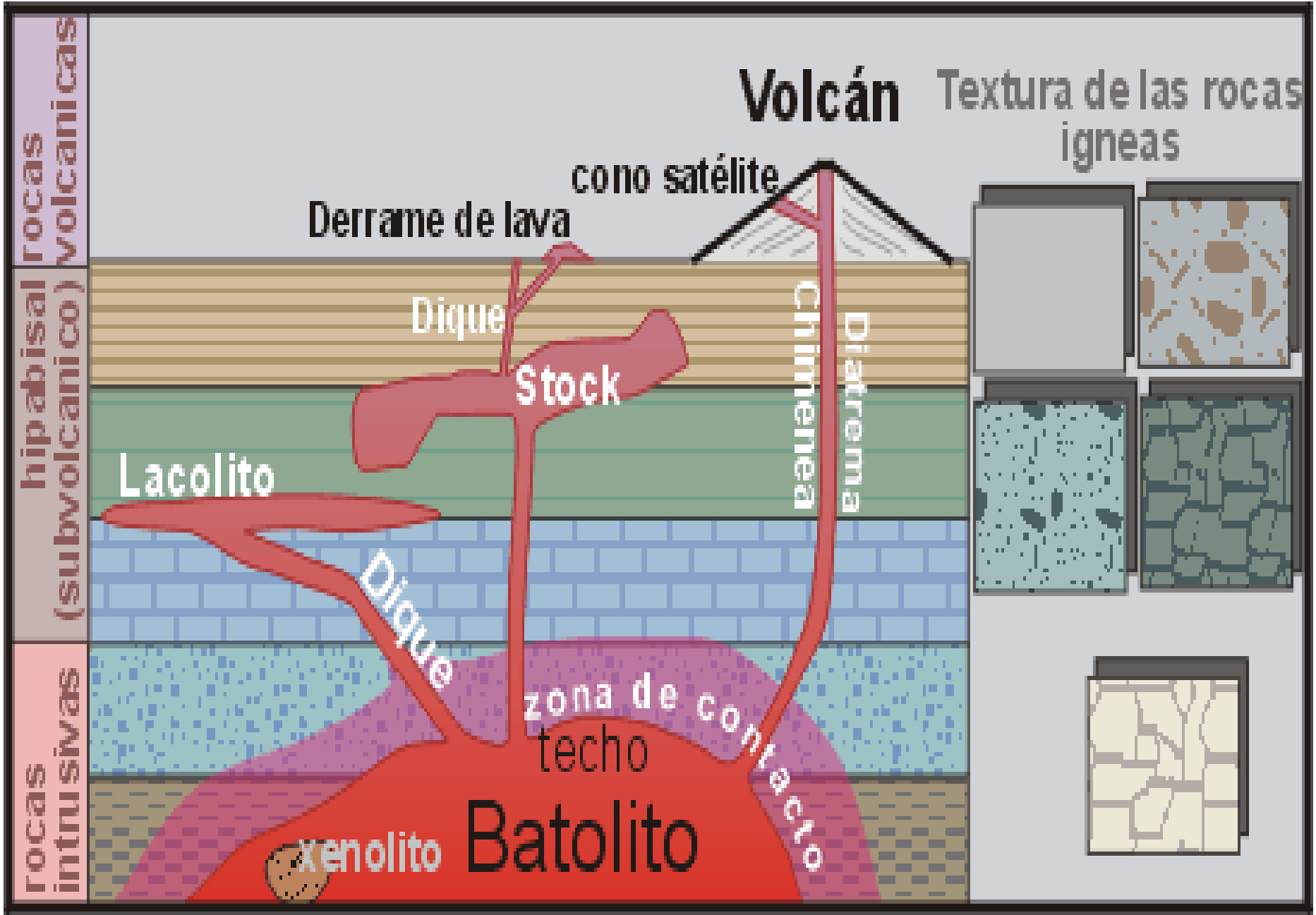
Mapa Geotectónico

simplificado segun
WILSON (1989)

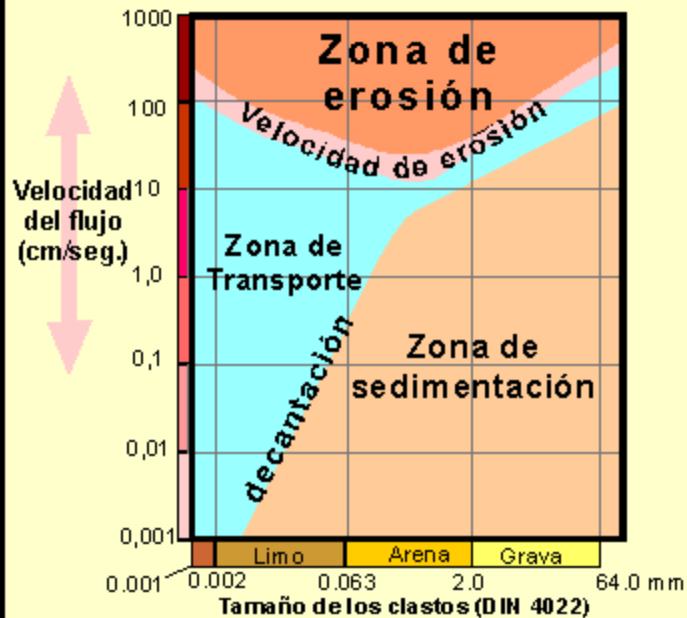
Leyenda

- Fosa, con subducción
- Lomo central oceánico con esparcimiento
- Tierra firme
- Him = Himalayas



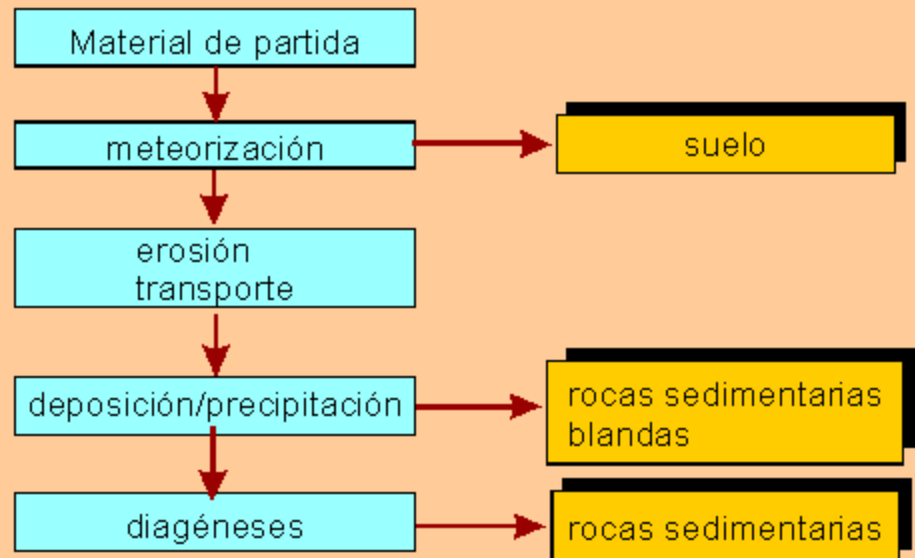


Erosión-Transporte-Sedimentación



Simplificado según HJULSTROM (1935), RUBEY (1933) y STRAHLER (1992)

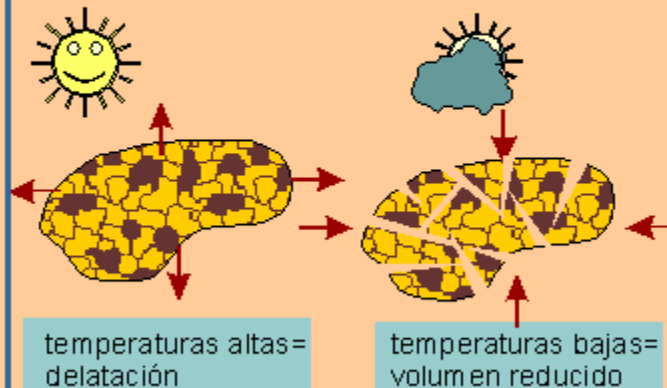
Formación de las rocas sedimentarias



WG98 /Sedim01.cdr

Meteorización mecánica

Cambio de la temperatura



Meteorización por helada



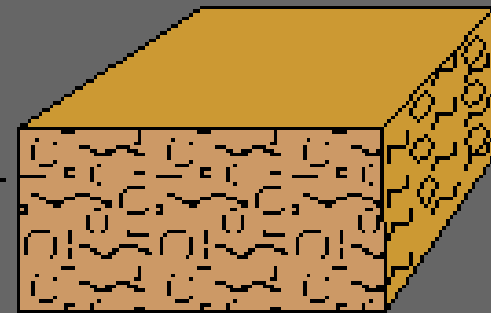
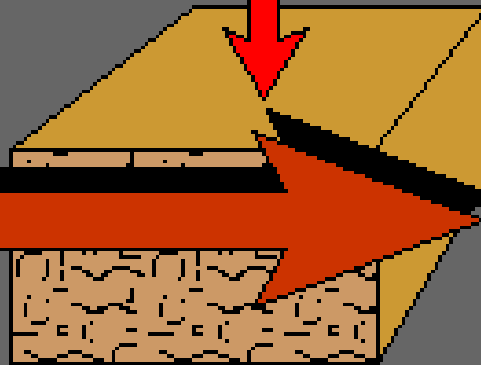
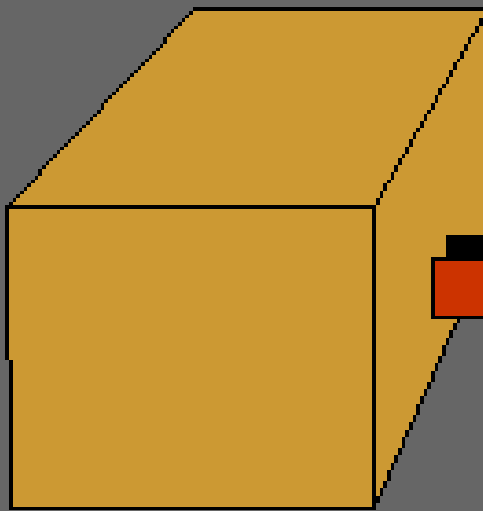
WG98/sedim02.cdr

Metamorfismo

Educto

Metamorfosis

Roca metamorfica

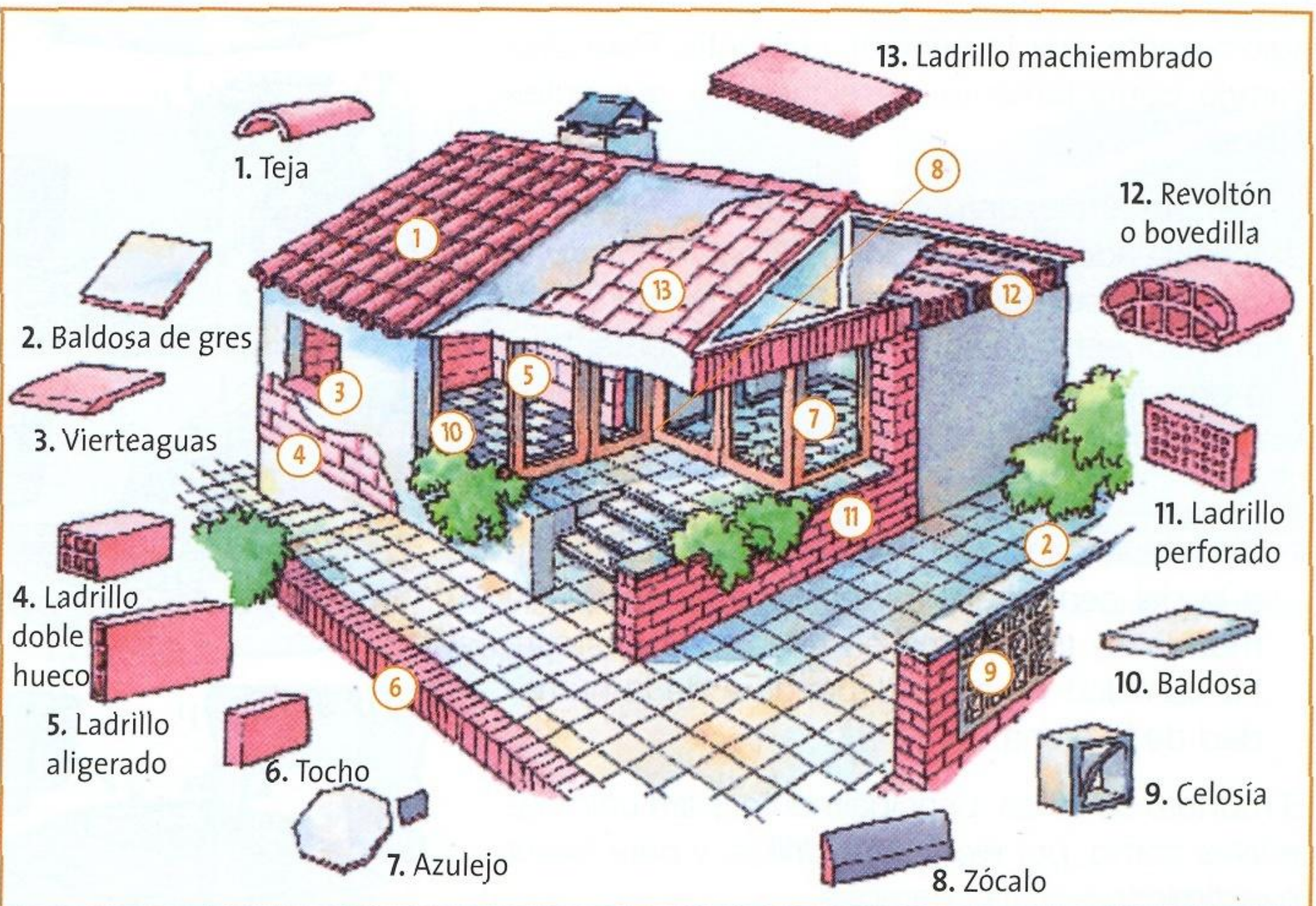


Roca
-sedimentaria
-ígnea
-metamórfica

Temperatura
Presión

Gneis
Marmol
Esquisto
Filita
Meta-

WG 99 /
Metam04.cdr



1. Teja

13. Ladrillo machiembrado

12. Revoltón o bovedilla

2. Baldosa de gres

3. Vierteaguas

11. Ladrillo perforado

4. Ladrillo doble hueco

5. Ladrillo aligerado

6. Tocho

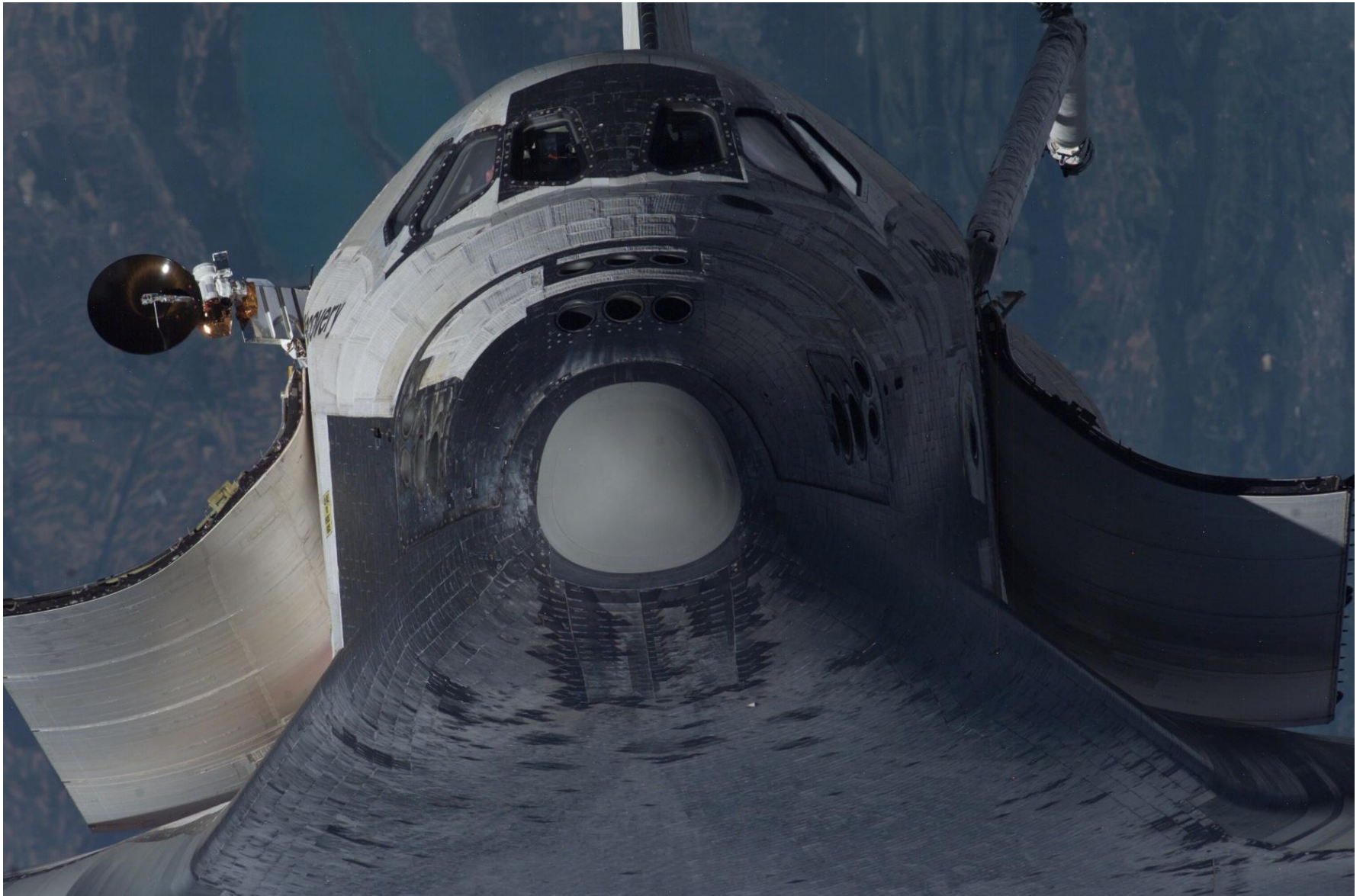
7. Azulejo

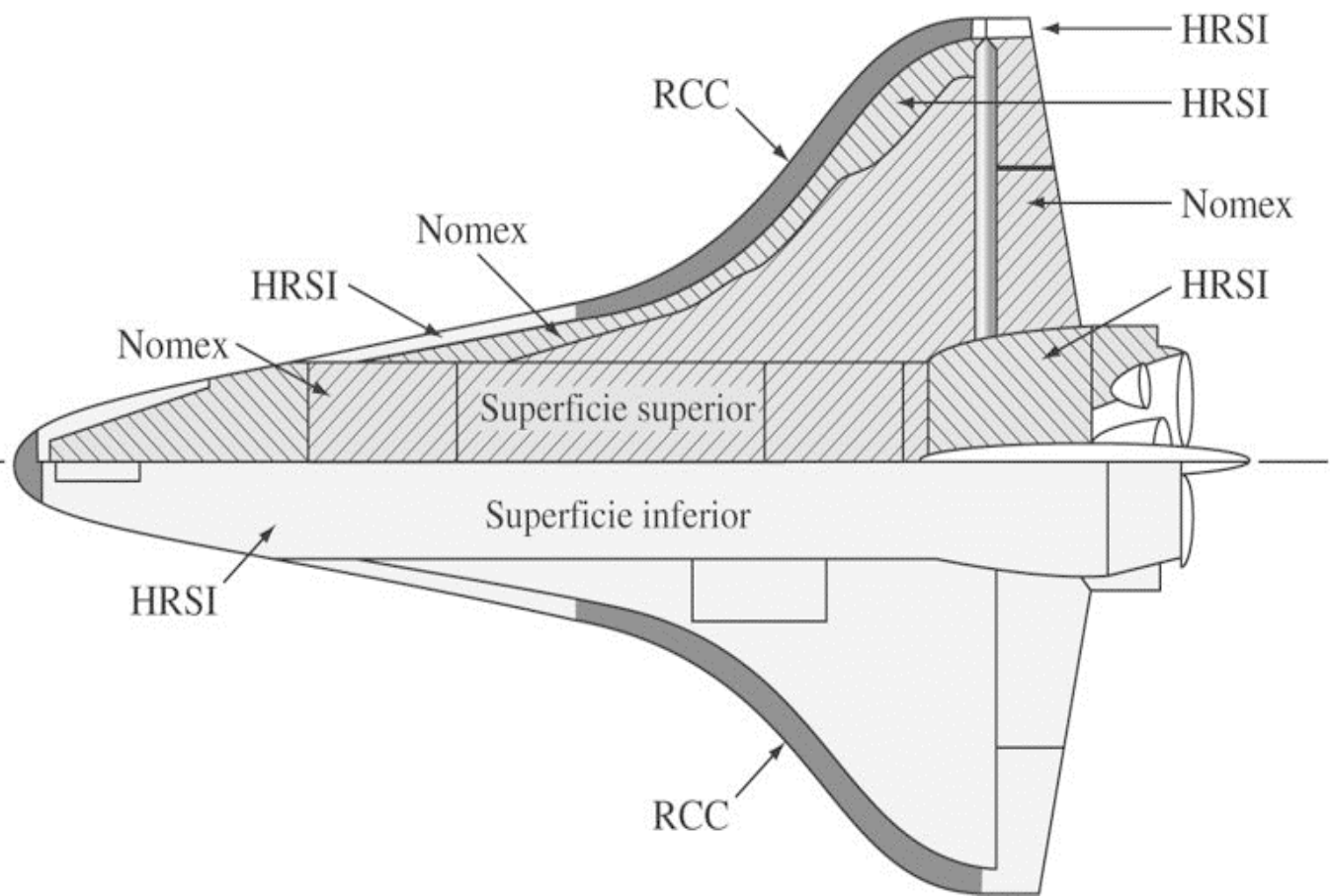
10. Baldosa

9. Celosía

8. Zócalo

Thermal protection system inspections from ISS - Shuttle nose

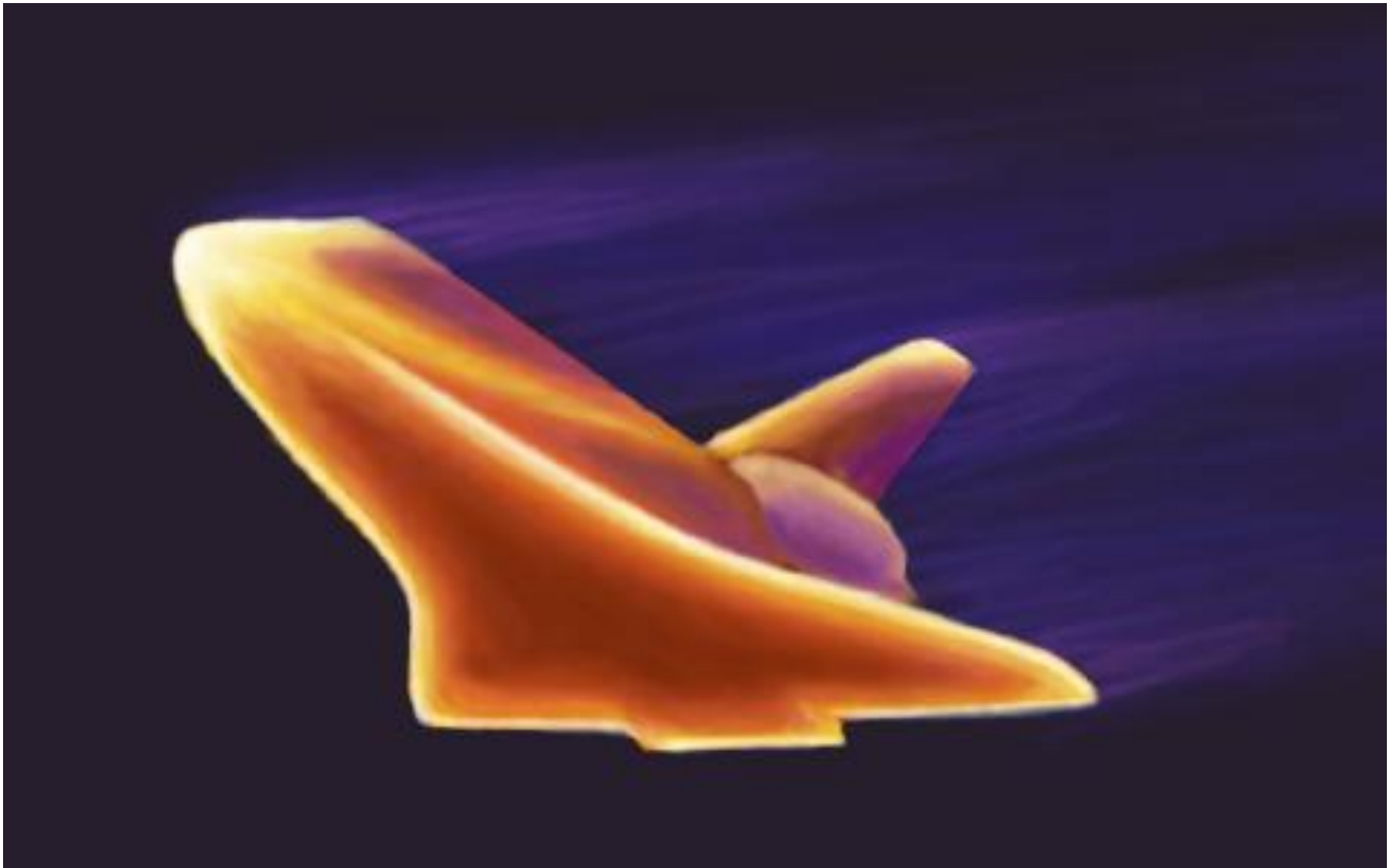




	Carbono-carbono reforzado
	Aislamiento superficial reutilizable para alta temperatura (HRSI)
	Aislamiento superficial reutilizable para baja temperatura
	Filtro Nomex recubierto
	Metal o vidrio

Sistemas de protección térmica del transbordador espacial.

(

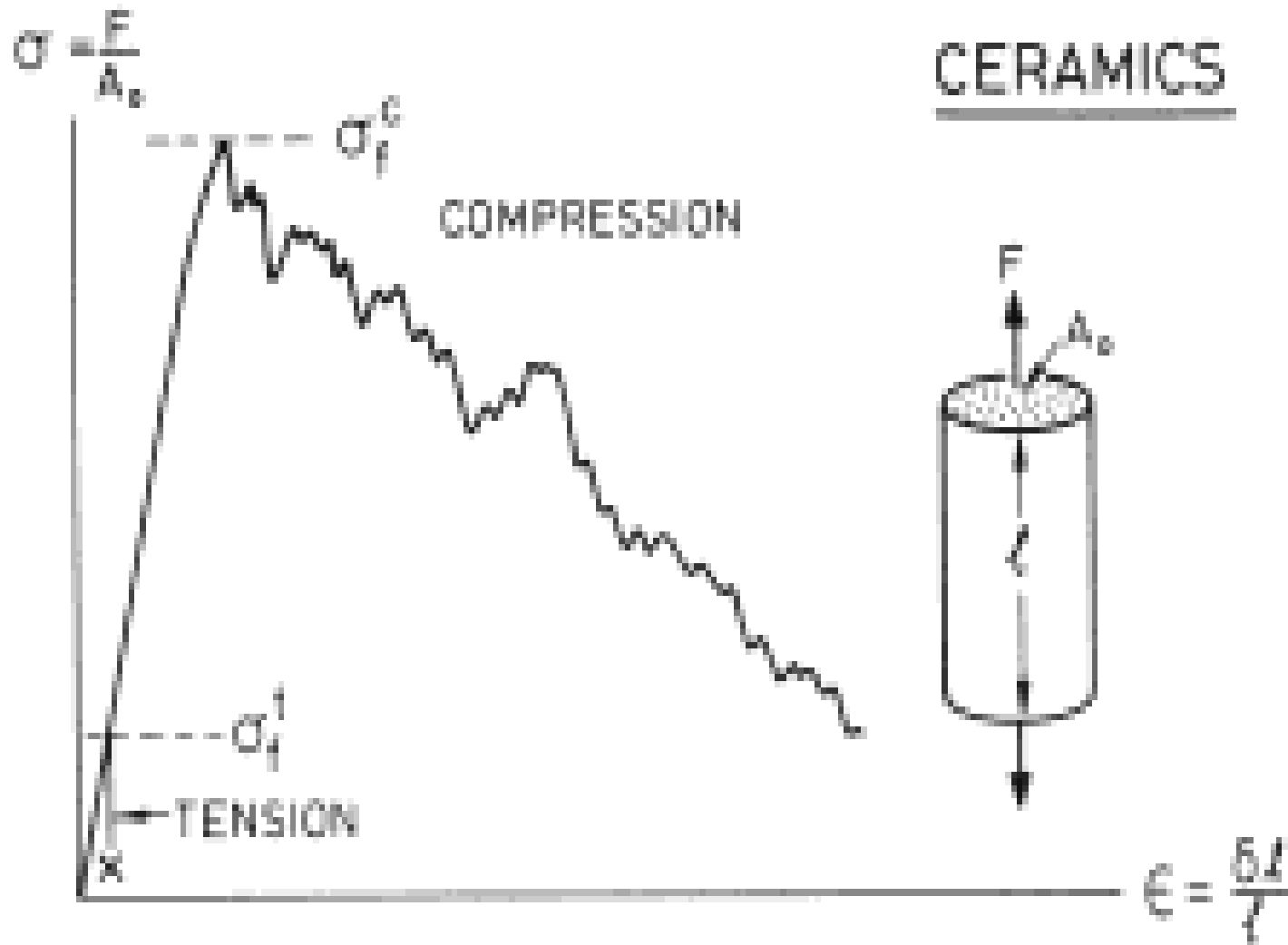


Simulación de la parte externa del Transbordador Espacial mientras alcanza temperaturas mayores a los 1.500 °C durante la re-entrada a la atmósfera terrestre

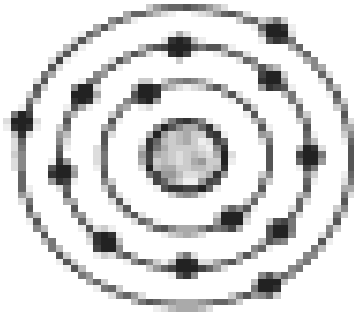
Materiales cerámicos

- **Silicatos:** SiO_2
- **Carbonatos:** CaCO_3 y MgCO_3
- **Circones:** ZrO_2
- **Alúmina:** Al_2O_3
- **Carburos:** TiC , WC , SiC , HfC

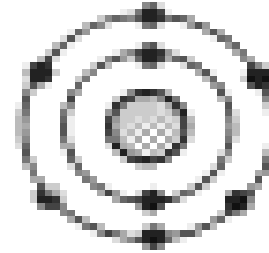
Curva de carga-deformación de los cerámicos



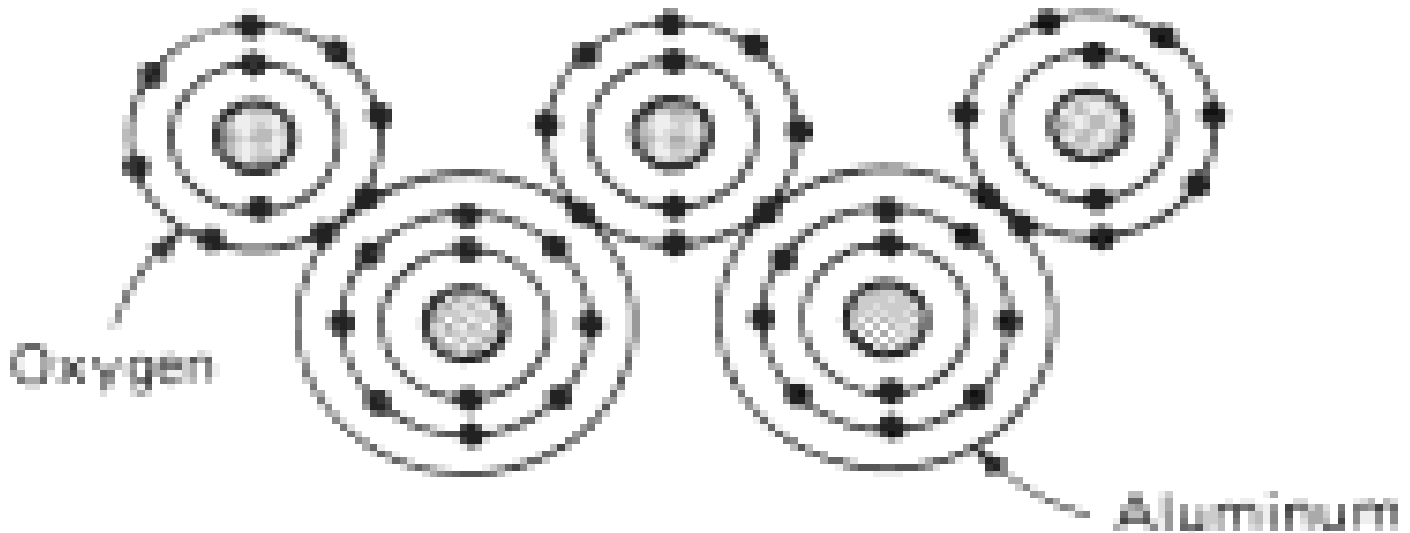
Unión iónica/covalente de la alumina (Al_2O_3)



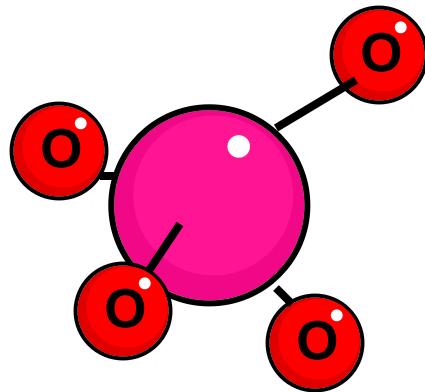
Aluminum atom
valence of 3



Oxygen atom
valence of 6

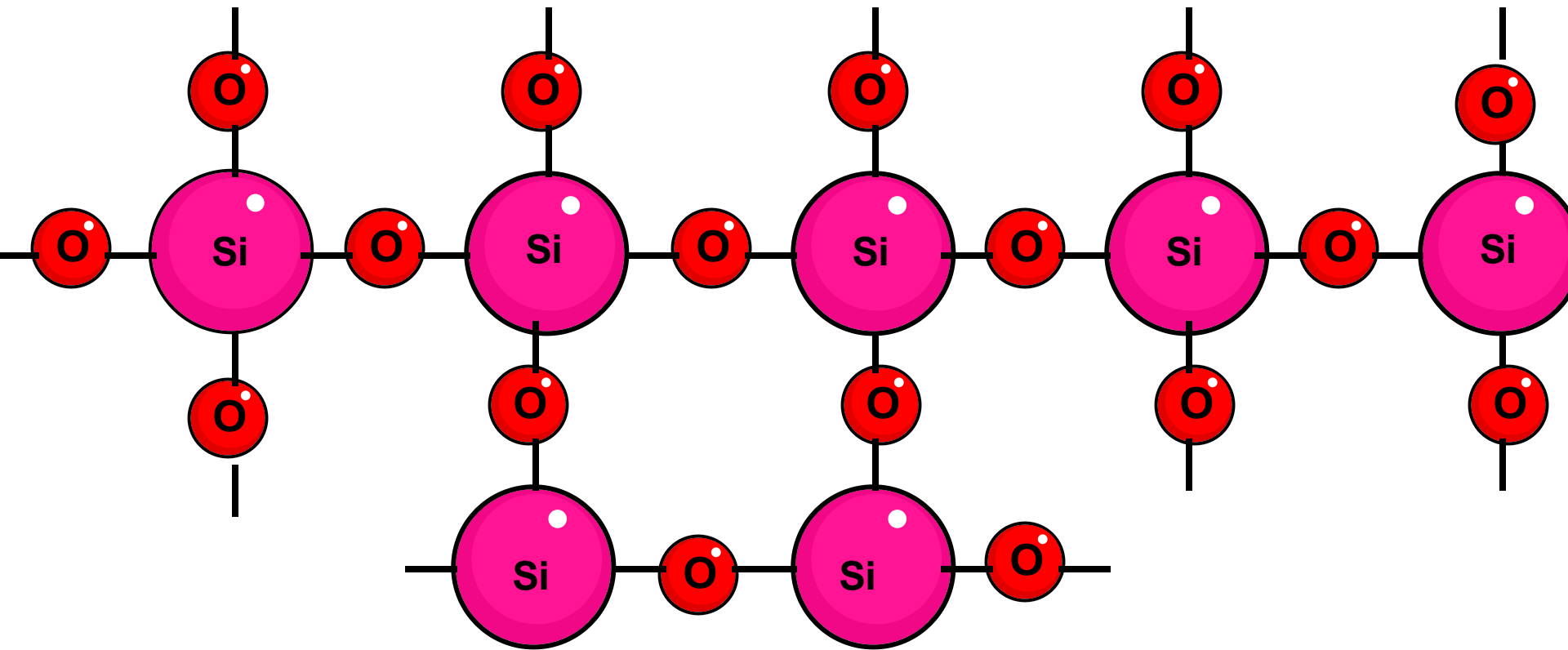


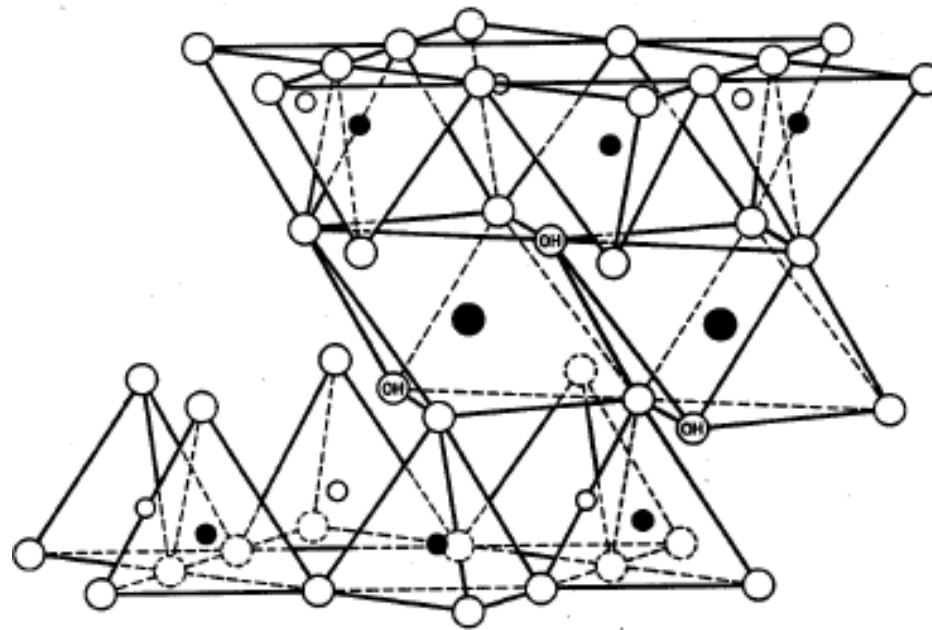
Silicatos



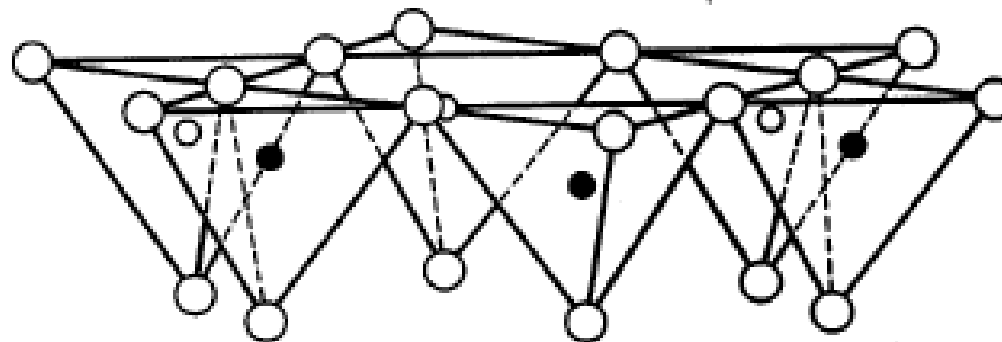
El sistema cristalográfico de la sílice en tetrahedral

Silicatos





Exchangeable cations
 $n\text{H}_2\text{O}$



- Oxygens ○ OH Hydroxyls ● Aluminum, iron, magnesium
- and ● Silicon, occasionally aluminum

Clasificación de los materiales cerámicos a base de Silicatos

- **Arcillas:**

$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ (caolin)

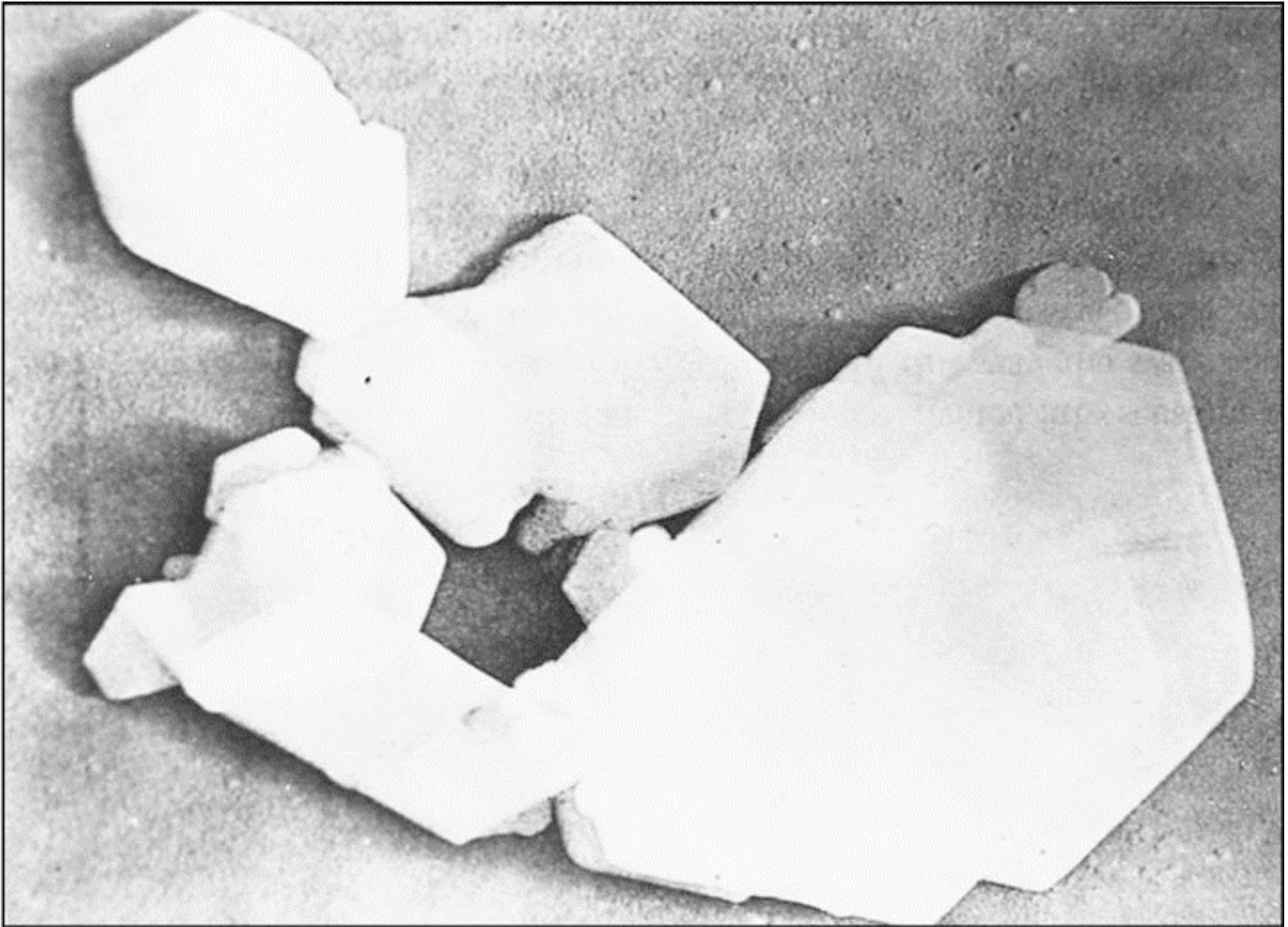
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot (\text{TiO}, \text{CoO}, \text{Cu}_2\text{O} \dots)$
(arcillas comunes)

- **Cerámicos refractarios:**

- Ácidos: SiO_2

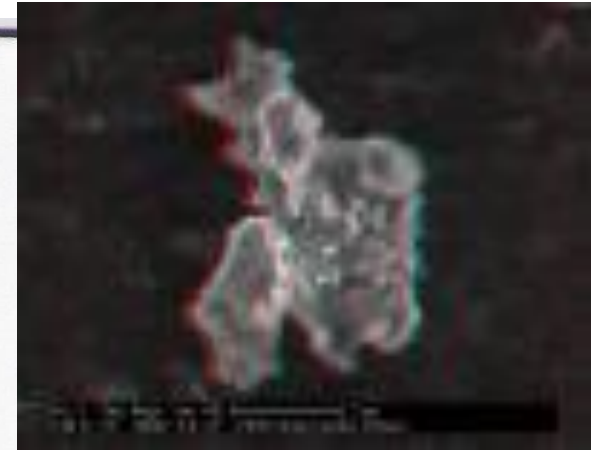
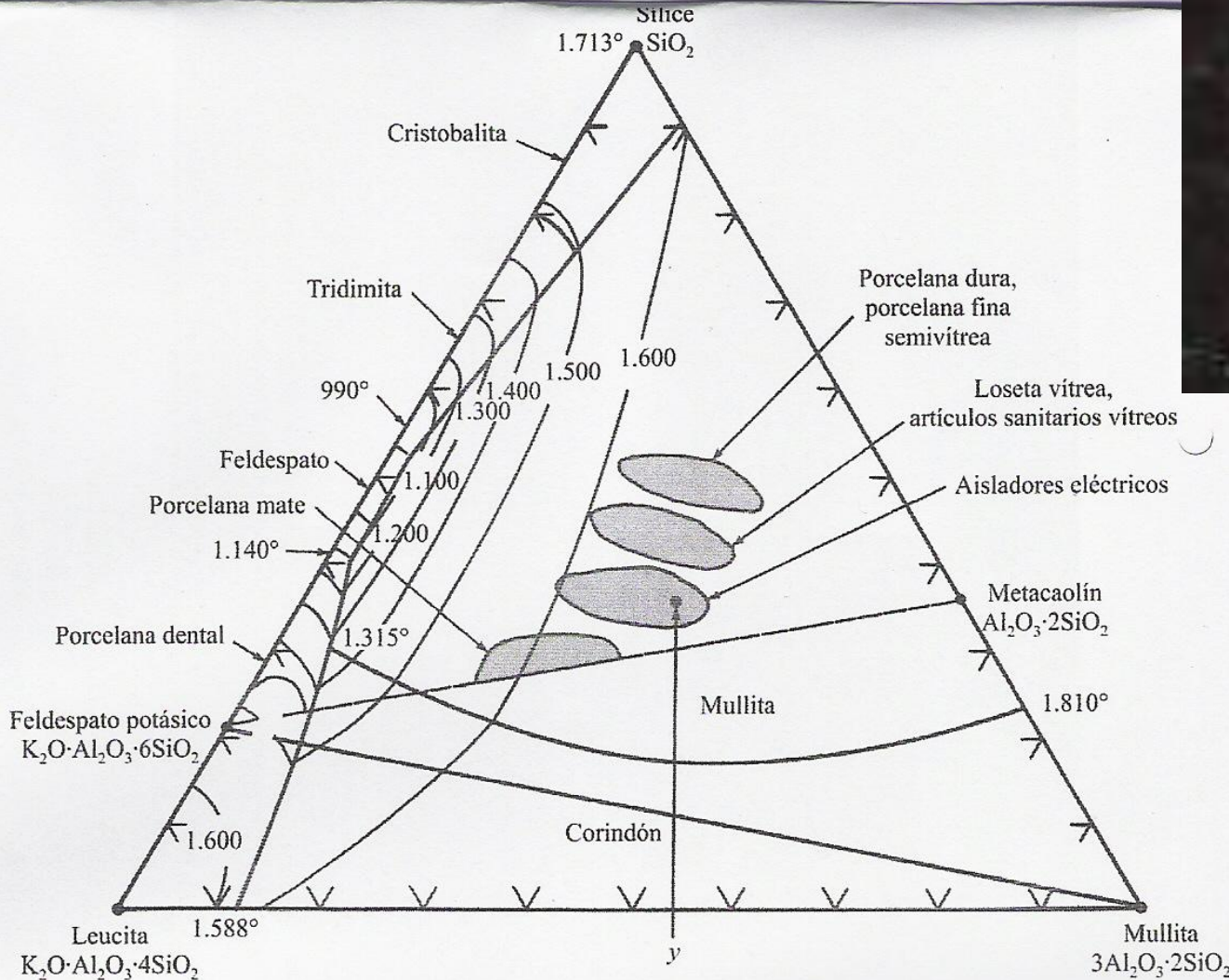
- Básicos: MgO

- Neutros: Al_2O_3 , Cr_2O_3



Cristales de caolinita como se observan al microscopio electrónico (técnica de réplica).

Diagrama trifásico de las arcillas



Partícula de arcilla vista al microscopio

Diagrama de Fases Binario de Sílice y Alúmina

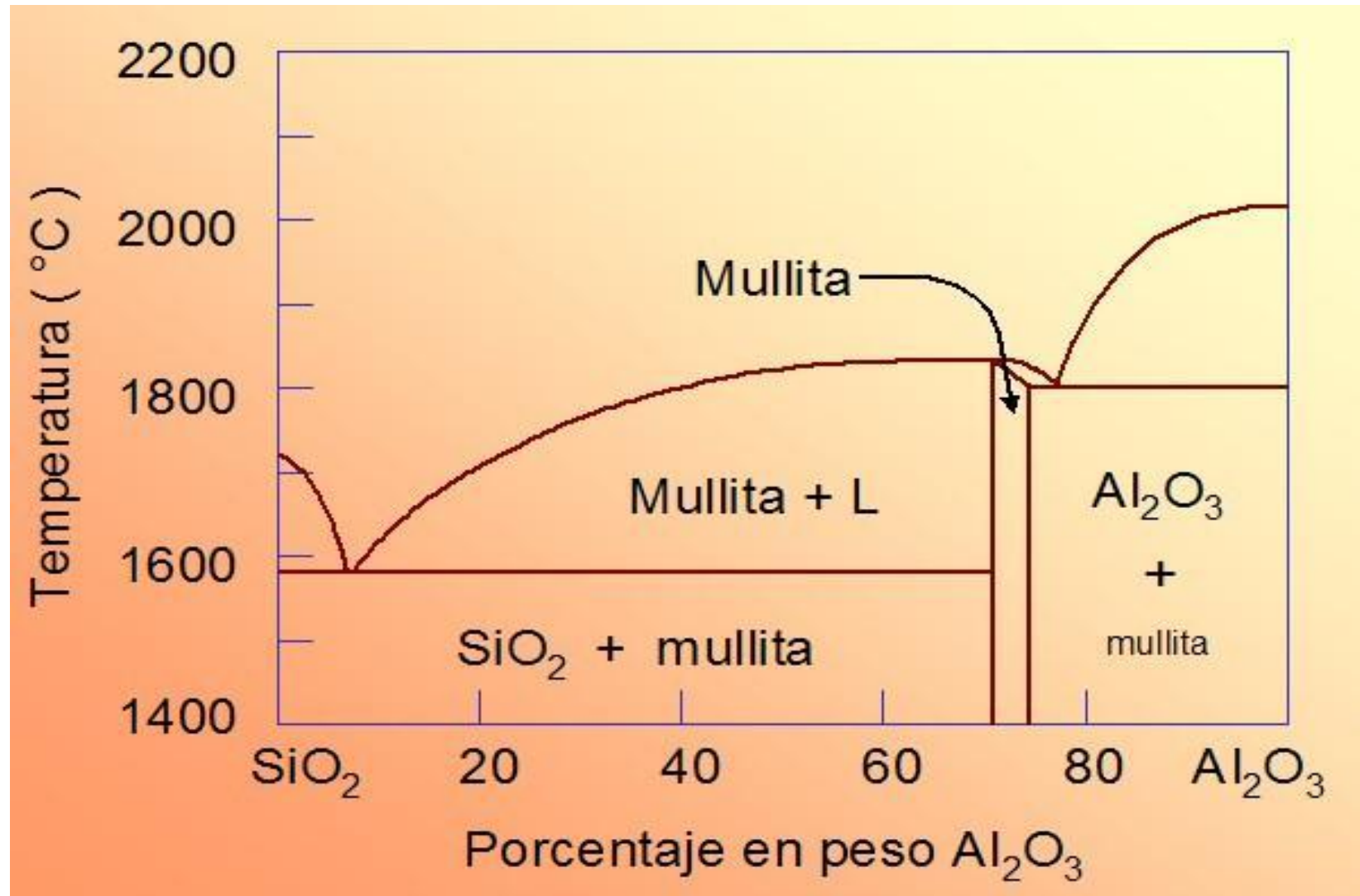


Diagrama de fase Ternario de Sílice, Arcilla y Feldespato.

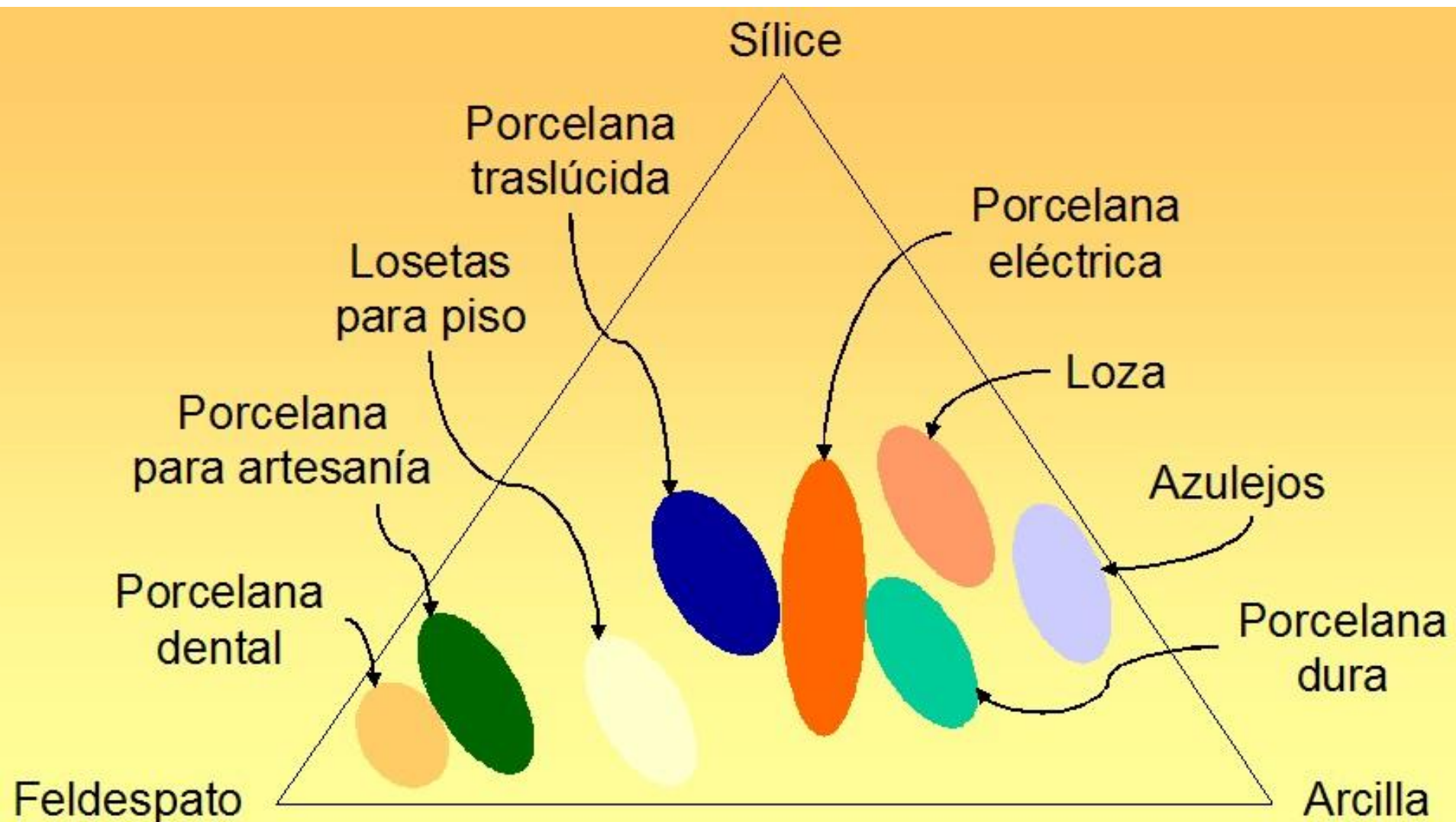
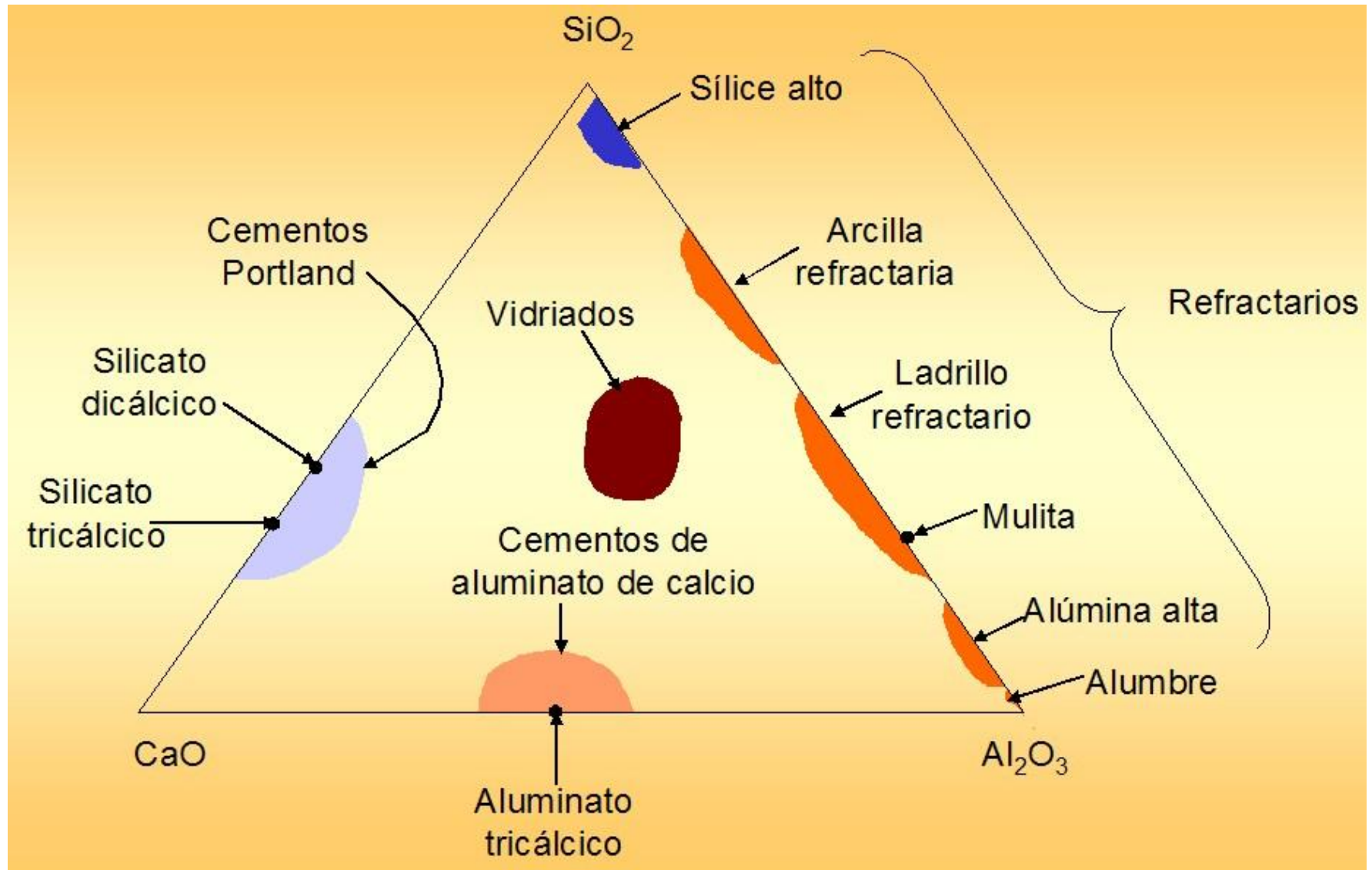
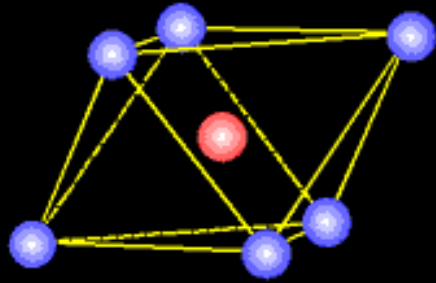


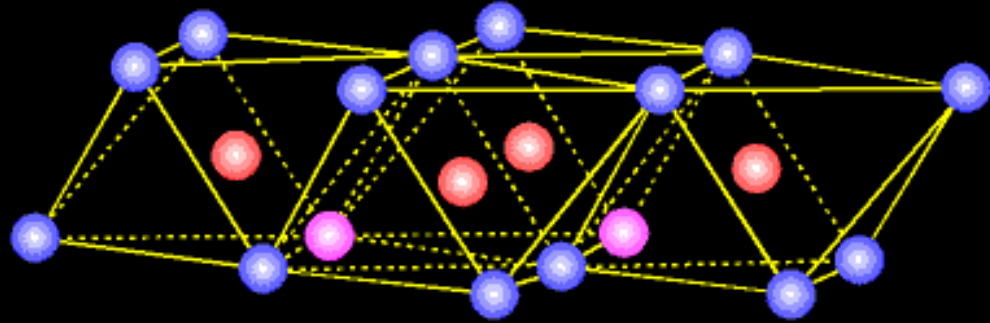
Diagrama de fase Ternario de Sílice, Arcilla y Oxido de Calcio



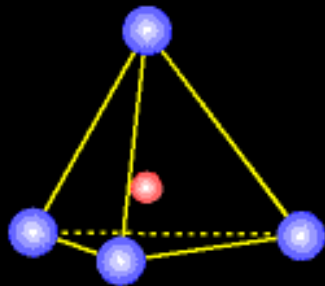
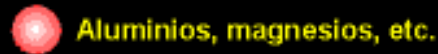
Estructura <1mm, bases tetrahédricas u octahédricas



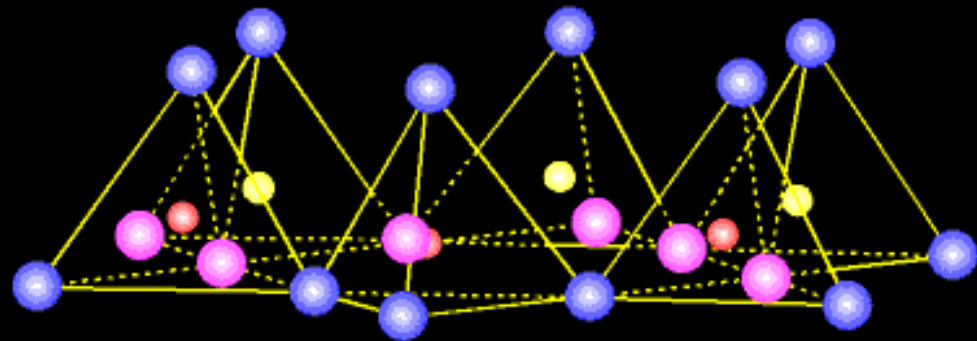
(a)



(b)

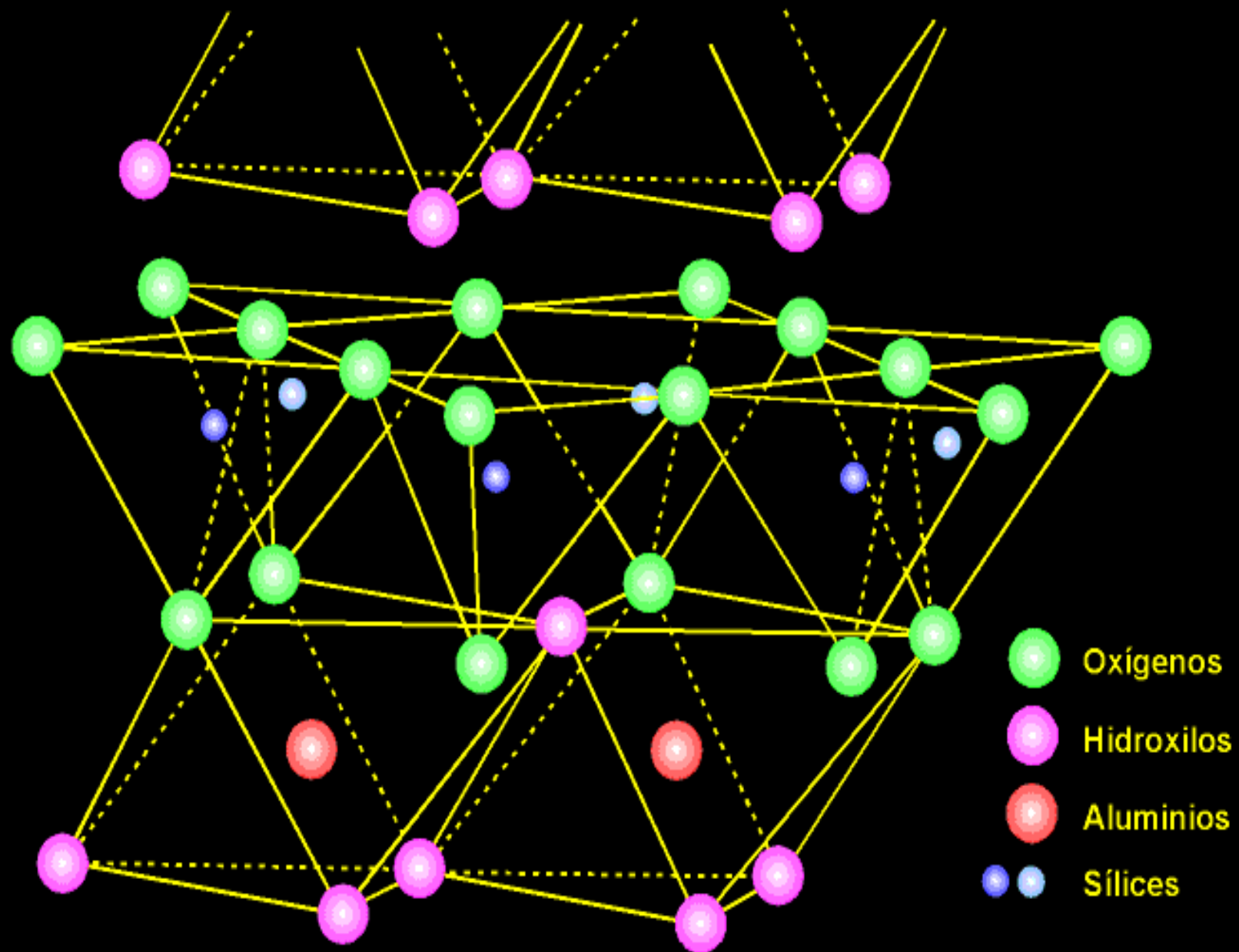



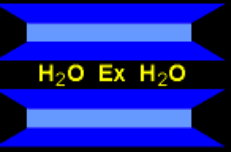
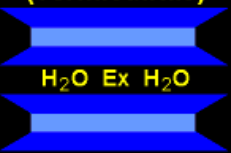


(c)






(d)

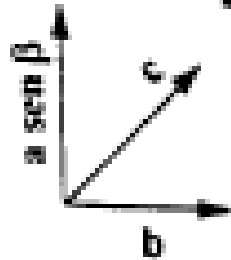
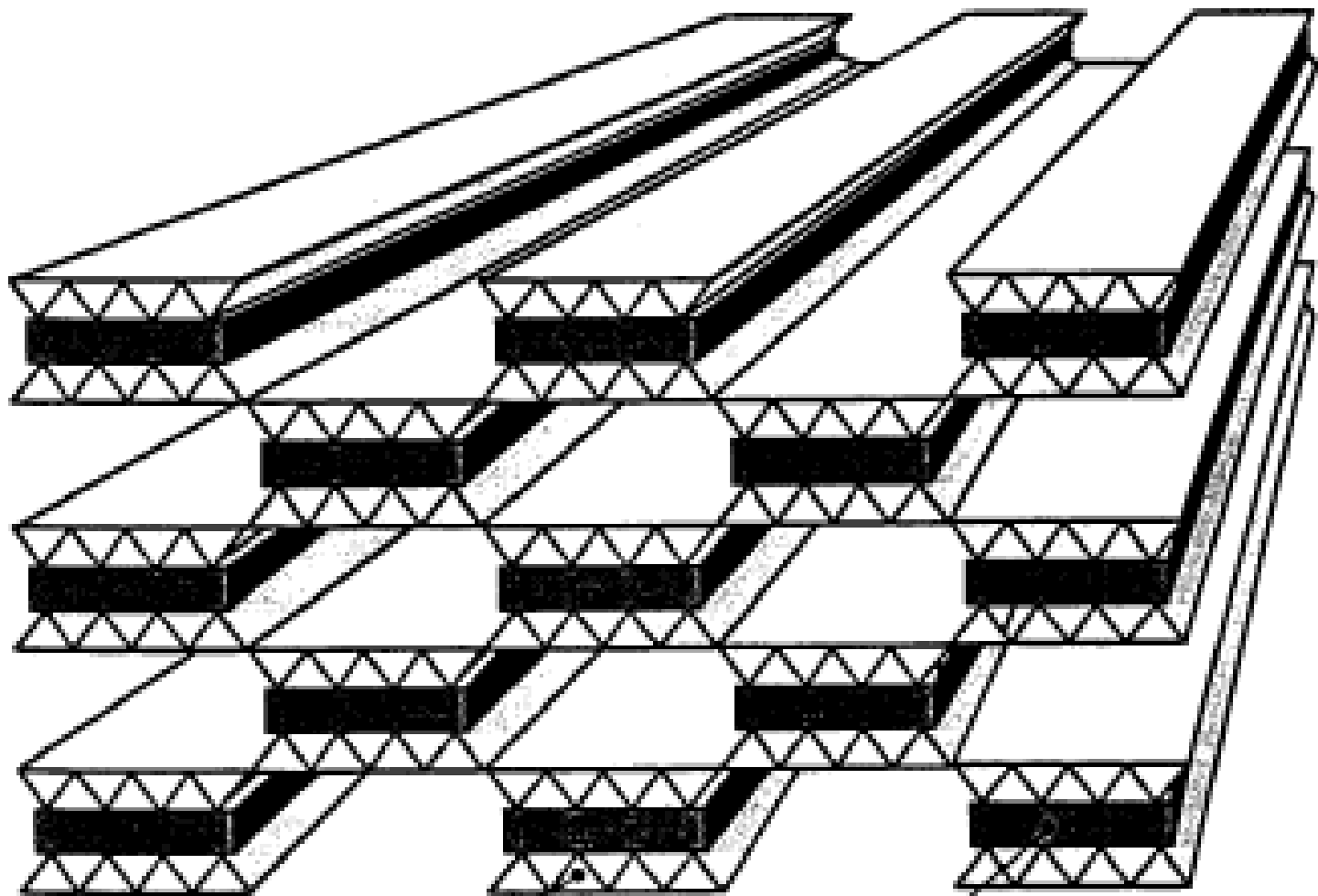




Dos capas	<p style="text-align: center;">caolinita</p>  <p style="text-align: right;">$Al_2Si_2O_5(OH)_4$</p>
Tres capas	<p>Expandibles (smectitas o montmorillonitas)</p>  <p style="text-align: right;">$Ex_x [Al_{2-x}Mg_x] <Si_4> O_{10} (OH)_2$</p> <p style="text-align: center;">(vermiculitas)</p>  <p style="text-align: right;">$Ex_x [Mg_3] <Al_xSi_{4-x}> O_{10} (OH)_2$</p>
	<p>No expandibles (ilitas)</p>  <p style="text-align: right;">$K_{1-x} [Al_2] <Al_{1-x}Si_{3+x}> O_{10} (OH)_2$</p>
Cloritas	<p style="text-align: center;">Clorita</p>  <p style="text-align: right;">$[Mg,Al]_3 (OH)_6 [Mg,Al]_3 <Si,Al>_4 O_{10} (OH)_2$</p>

Mg(OH)2

 , < > = capa tetrahédrica
 , [] = capa octahédrica
 = brucita
 Ex = cationes intercambiables



CAPA TETRAEDRICA

CAPA OCTAEDRICA

. Arcilla en forma natural (colín) constituida por:
 $\text{SiO}_2 \text{ Al}_2\text{O}_3$

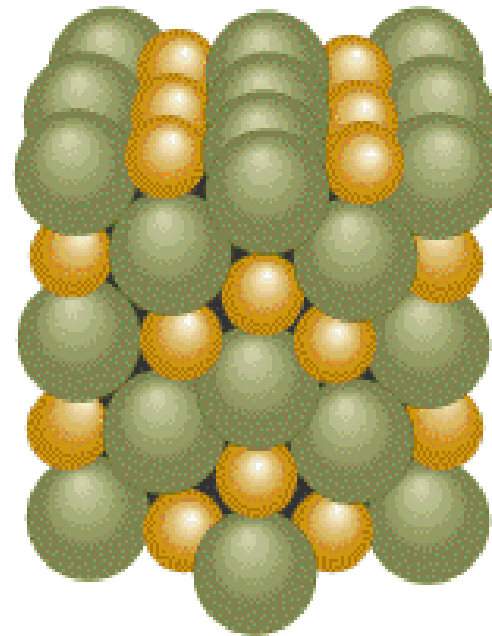
Material polar, se vuelve plástico al combinarlo con H_2O ,
unidos mediante un enlace iónico covalente
en el cual no se produce transmisión de electrones y es un
mal conductor eléctrico.



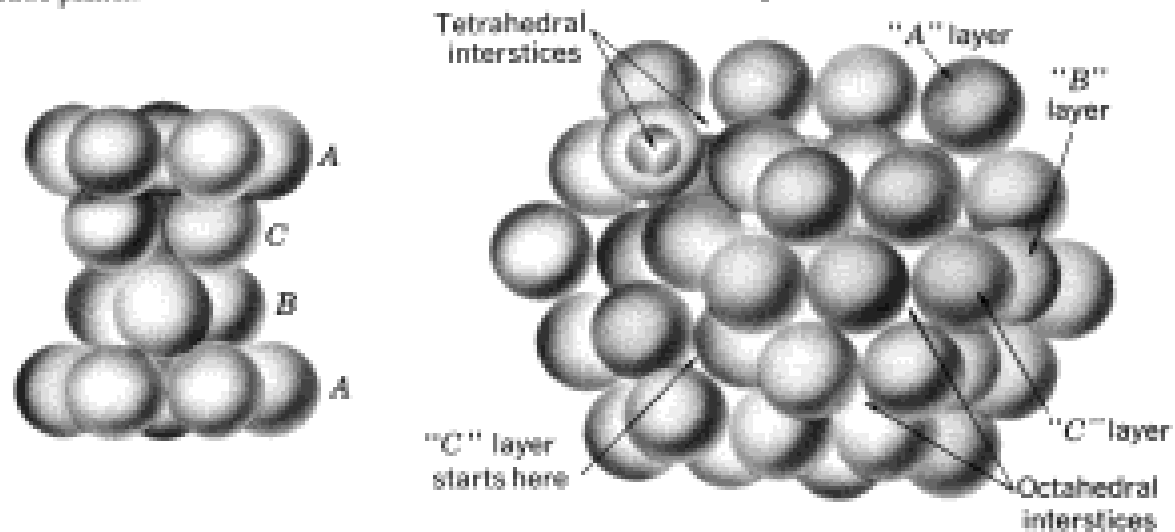
Si



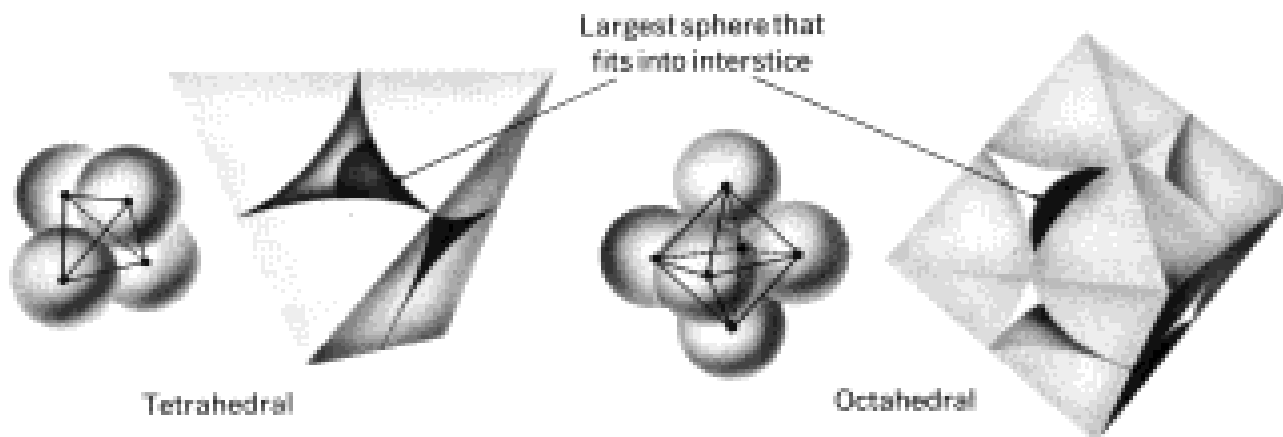
Al



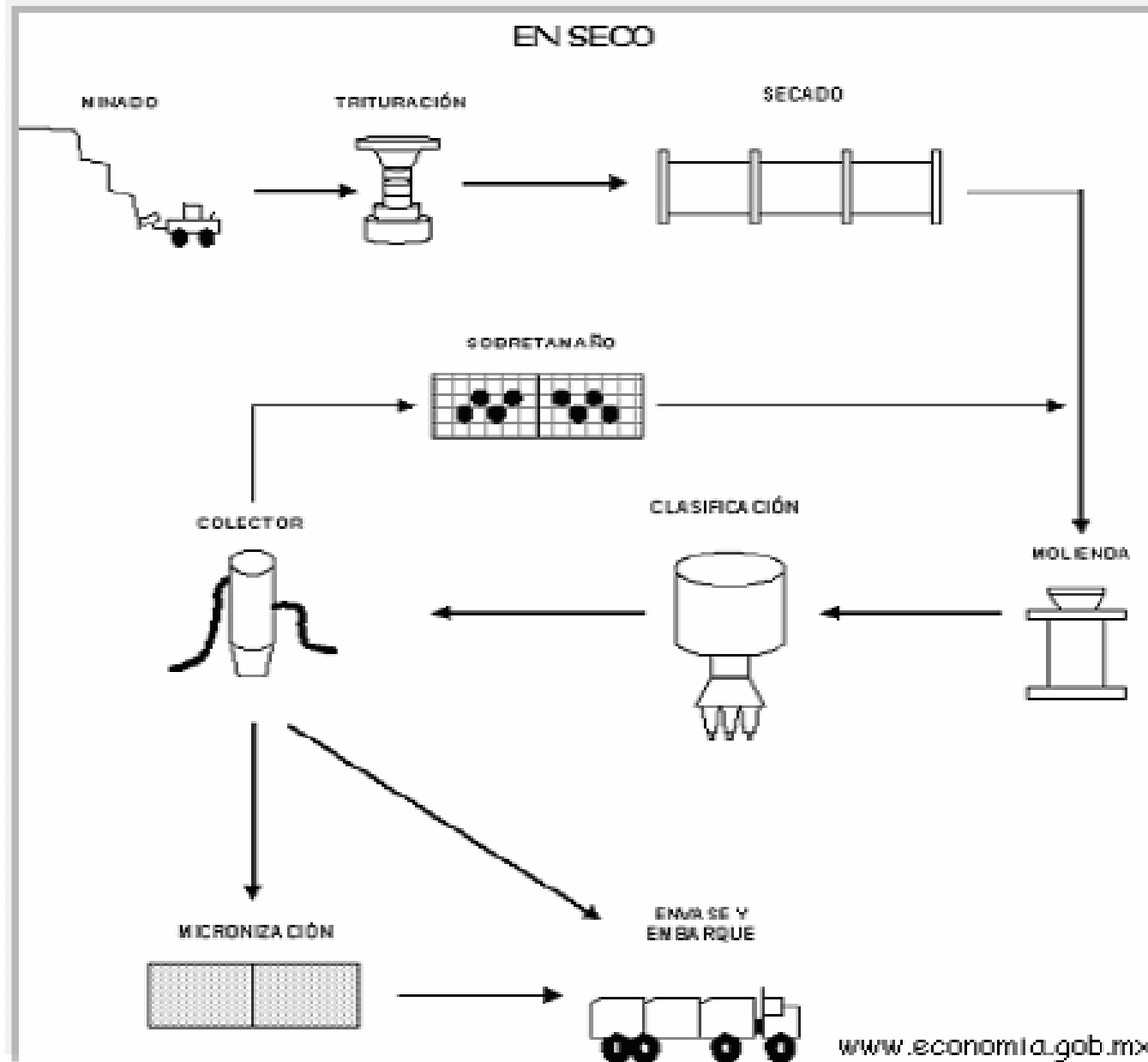
Estructuras cristalinas de los cerámicos



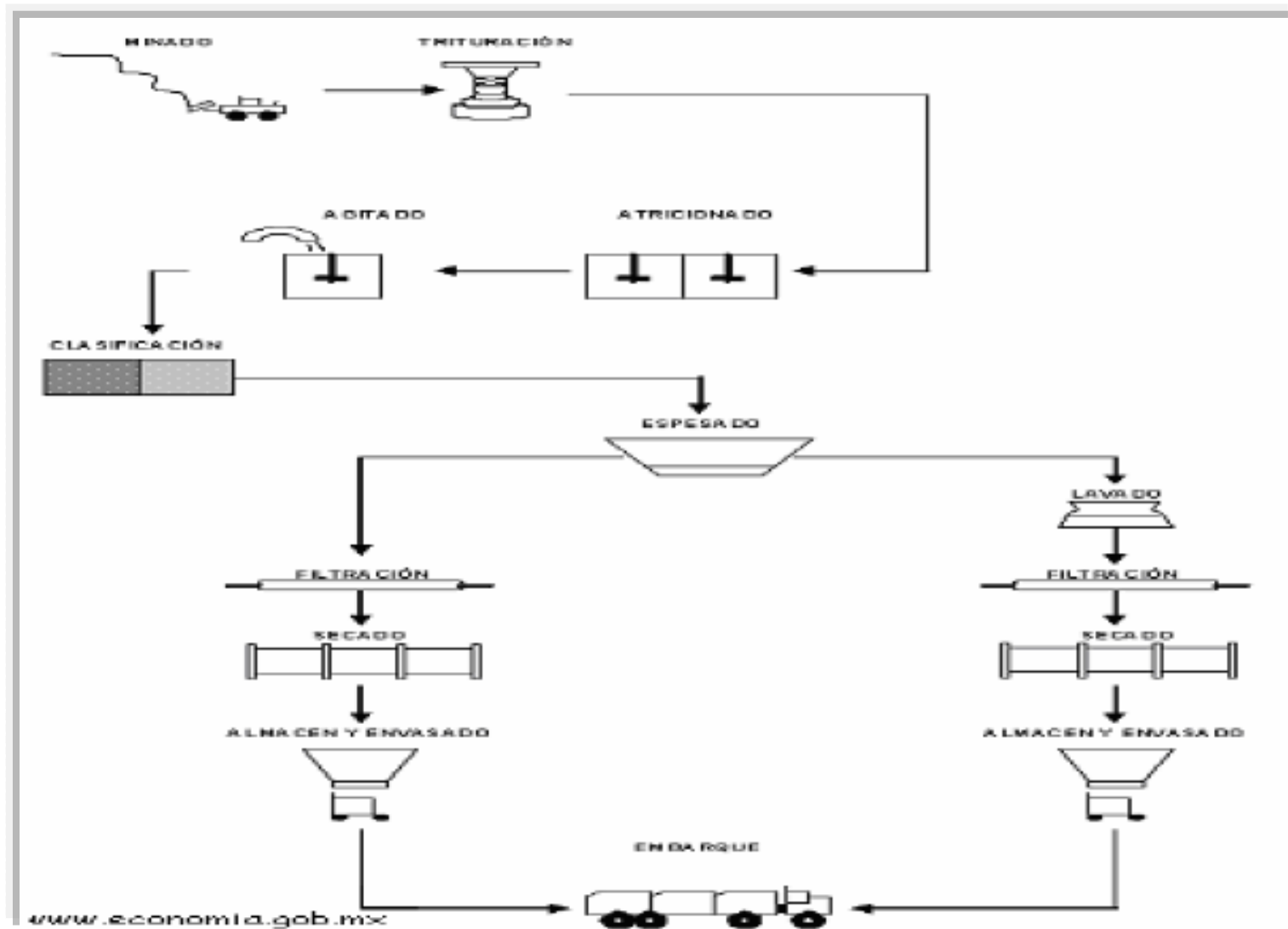
(c) Two views of the *ABCABC* ... stacking of octahedral planes.



OBTECIÓN DE CAOLIN PROCESADO EN SECO

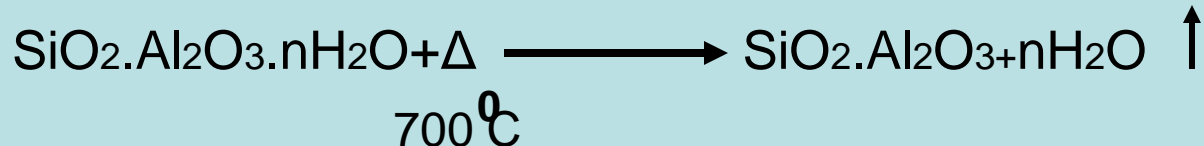
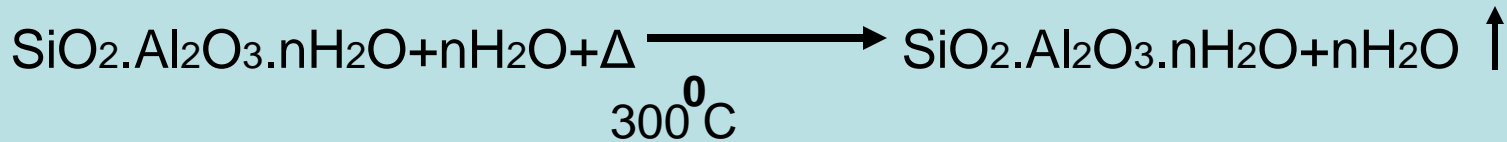
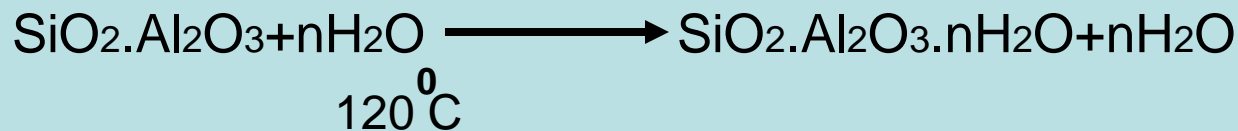


OBTENCION DE CAOLIN POR EL PROCESADO EN HÚMEDO

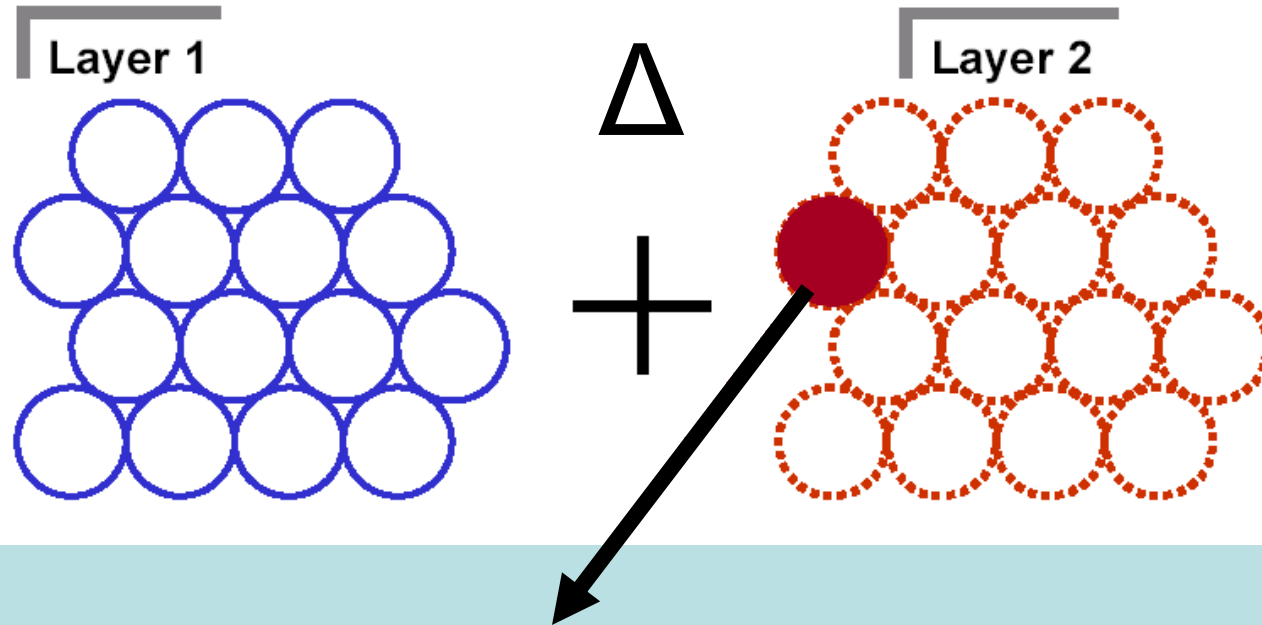


Sinterización o Cocimiento

- Las arcillas son compuestos polares por lo que al entrar en contacto con el agua, que también es polar, se vuelven plásticas.

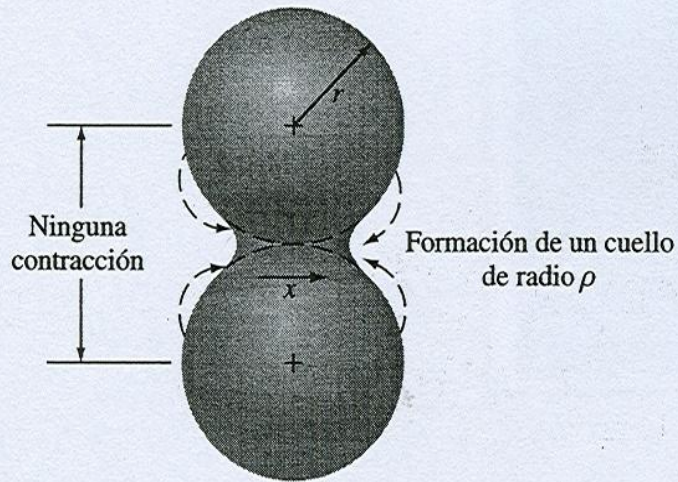


Sinterización



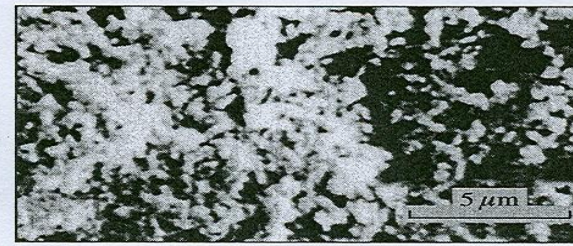
Cuando se alcanza la temperatura de sinterización, 700-1200 $^{\circ}$ C las partículas se unen por el fenómeno de difusión de los átomos.

sinterización

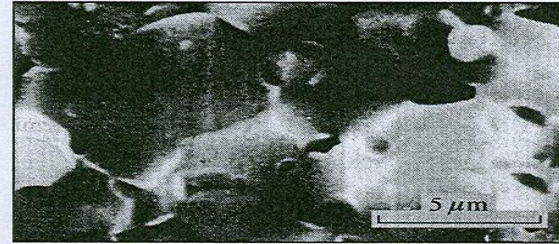


(Según J. H. Brophy, R. M. Rose y J. Wulff, «The Structure and Properties of Materials», vol. II: «Thermodynamics of Structure», Wiley, 1964, p. 139.)

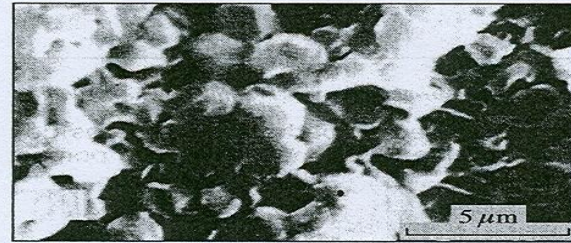
FIGURA 10.29. Formación de un cuello durante la sinterización de dos partículas finas. La difusión atómica tiene lugar en la superficie de contacto y alarga el área de contacto para formar el cuello.



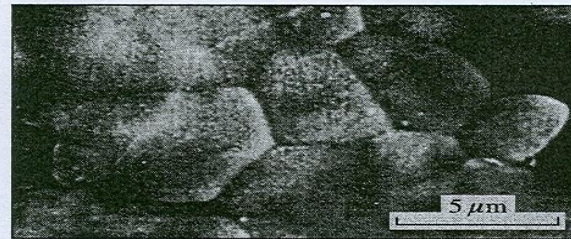
a)



b)



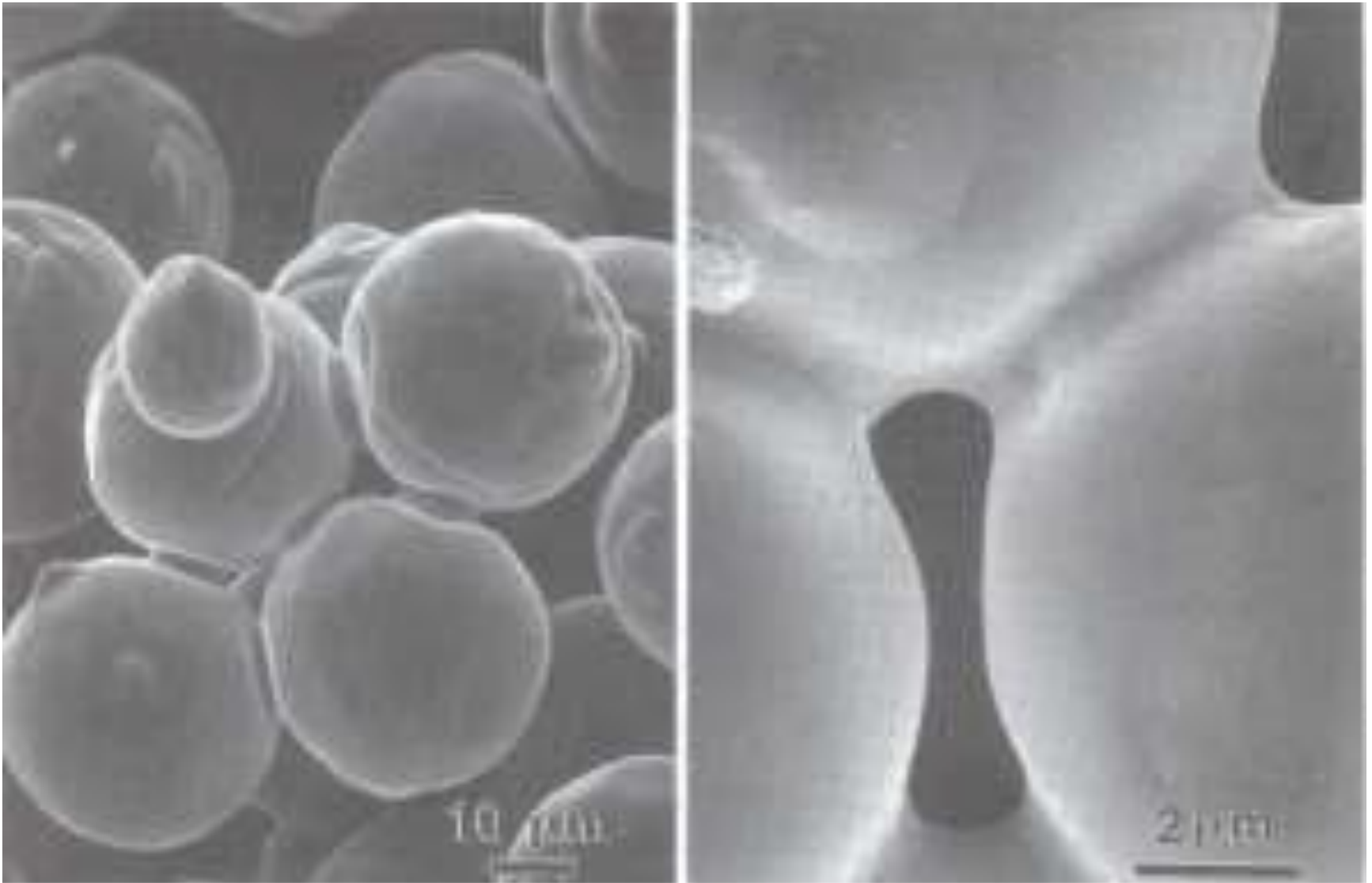
c)



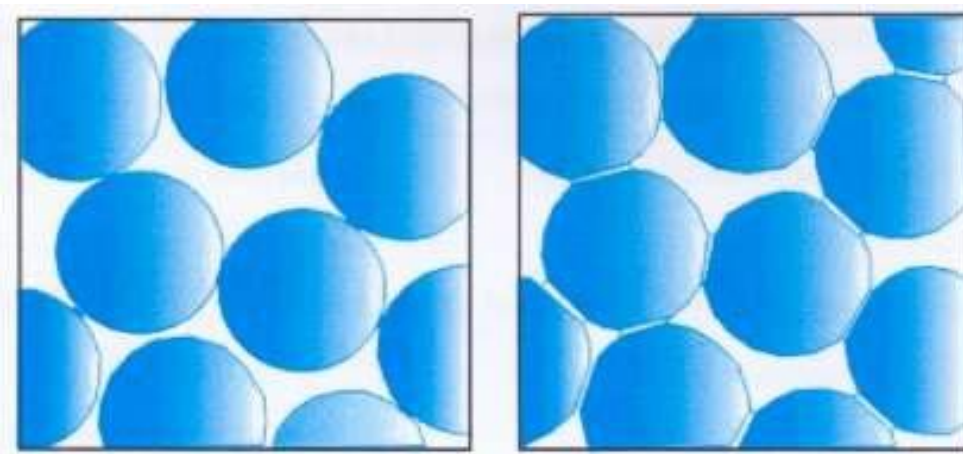
d)

[Según B. Wong y J. A. Pask, *J. Am. Ceram. Soc.*, 62:141 (1979).]

FIGURA 10.30. Micrografías obtenidas por microscopía electrónica de barrido de superficies de fractura de compactos de MgO (polvos comprimidos) sinterizados a 1.430 °C en aire estático durante: a) 30 min (fracción de porosidad = 0,39); b) 303 min (f.p. = 0,14); c) 1.110 min (f.p. = 0,09); la superficie recién recocida de c) se muestra en d).

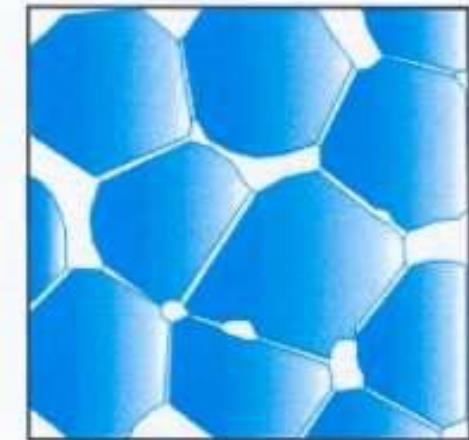


Formación de cuellos debido a la sinterización.

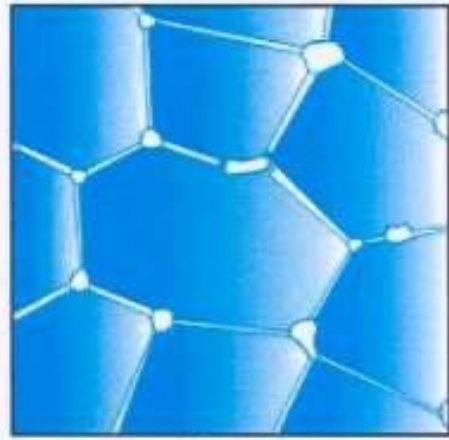


(a)

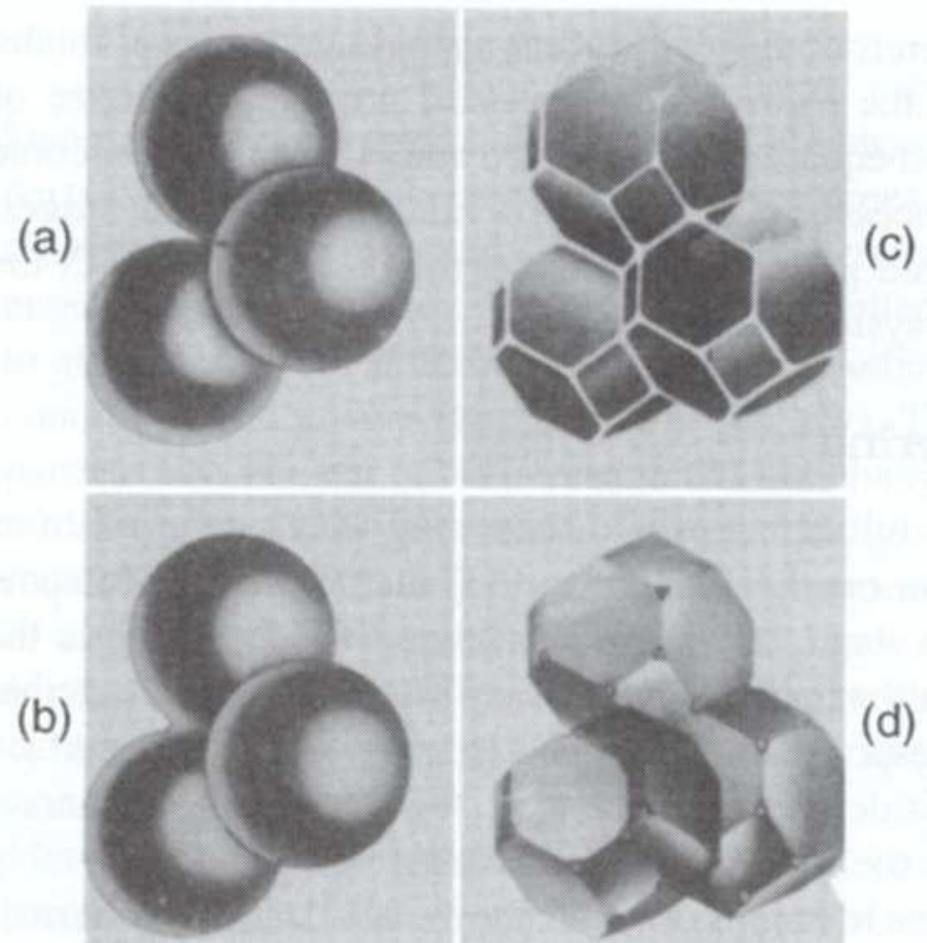
(b)



(c)



(d)



(a)

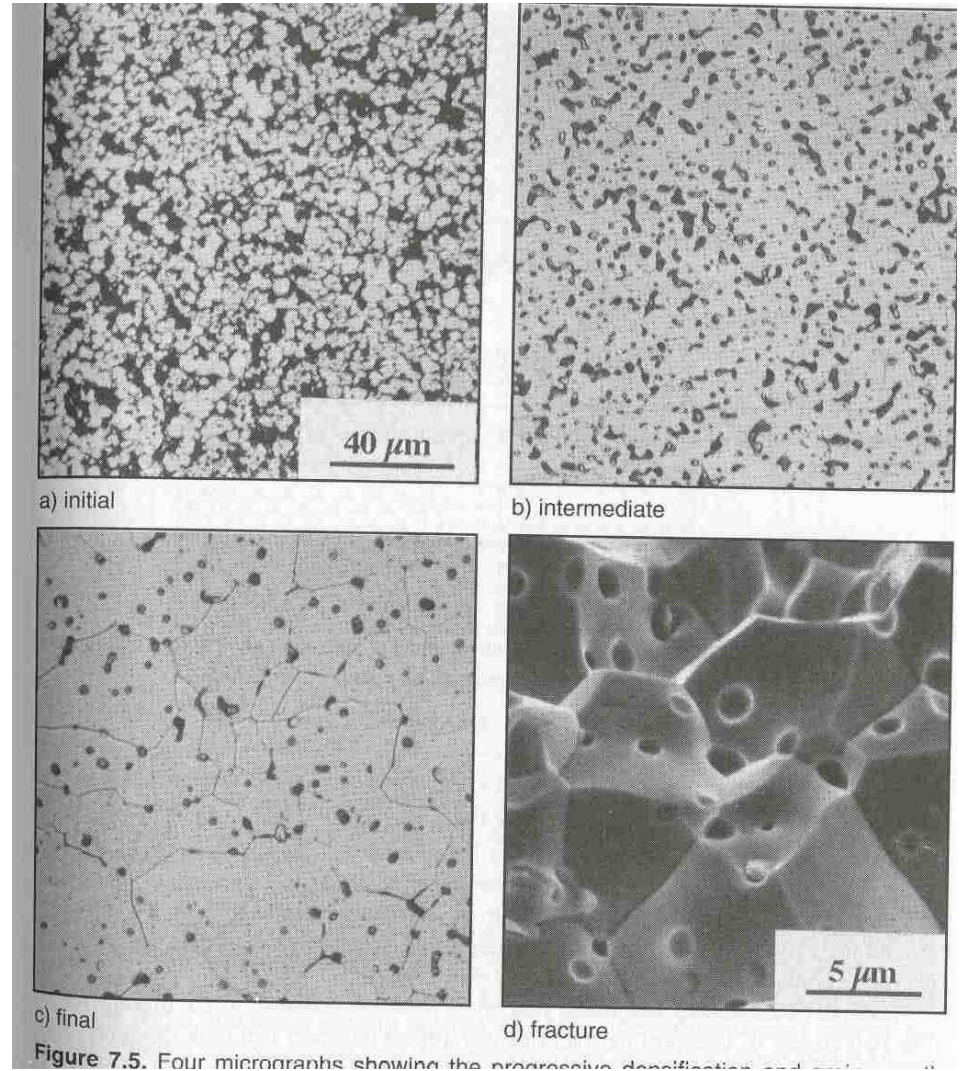
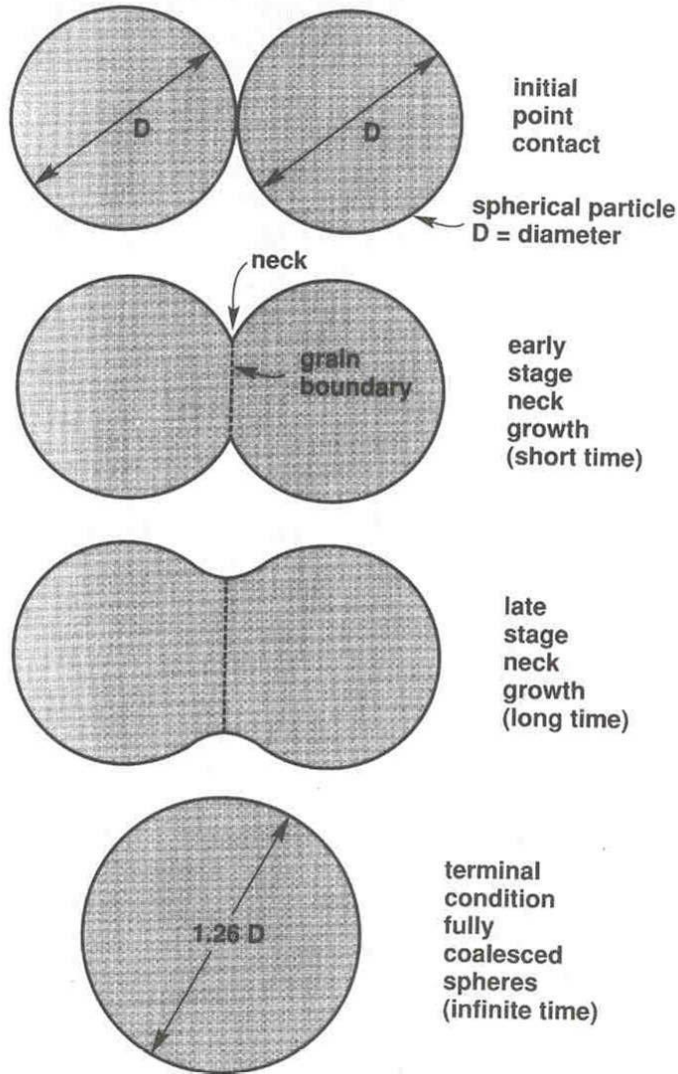
(c)

(b)

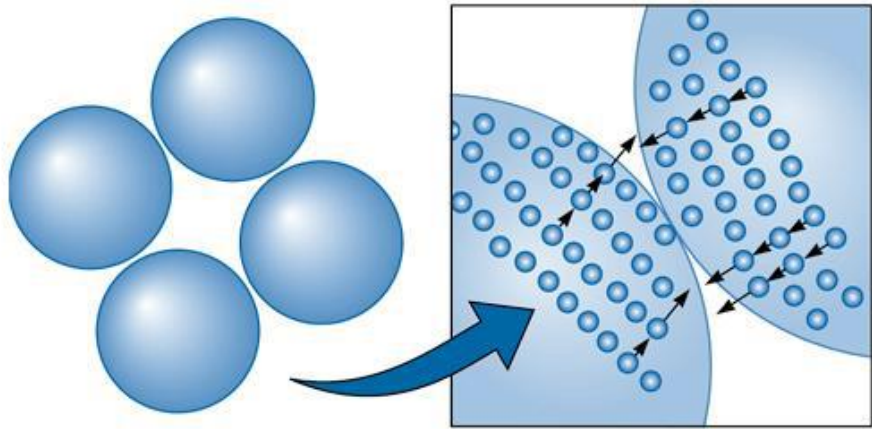
(d)

Esquemas de las etapas en la sinterización.

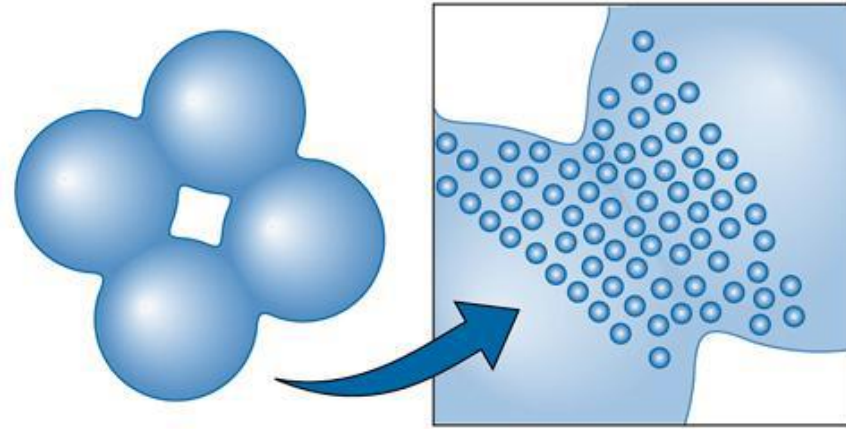
Two Sphere Sintering Model



ESTRUCTURA INTERCONECTADA DE POROS INESTABLE AL 92% DENSIDAD TEÓRICA



Compacted product



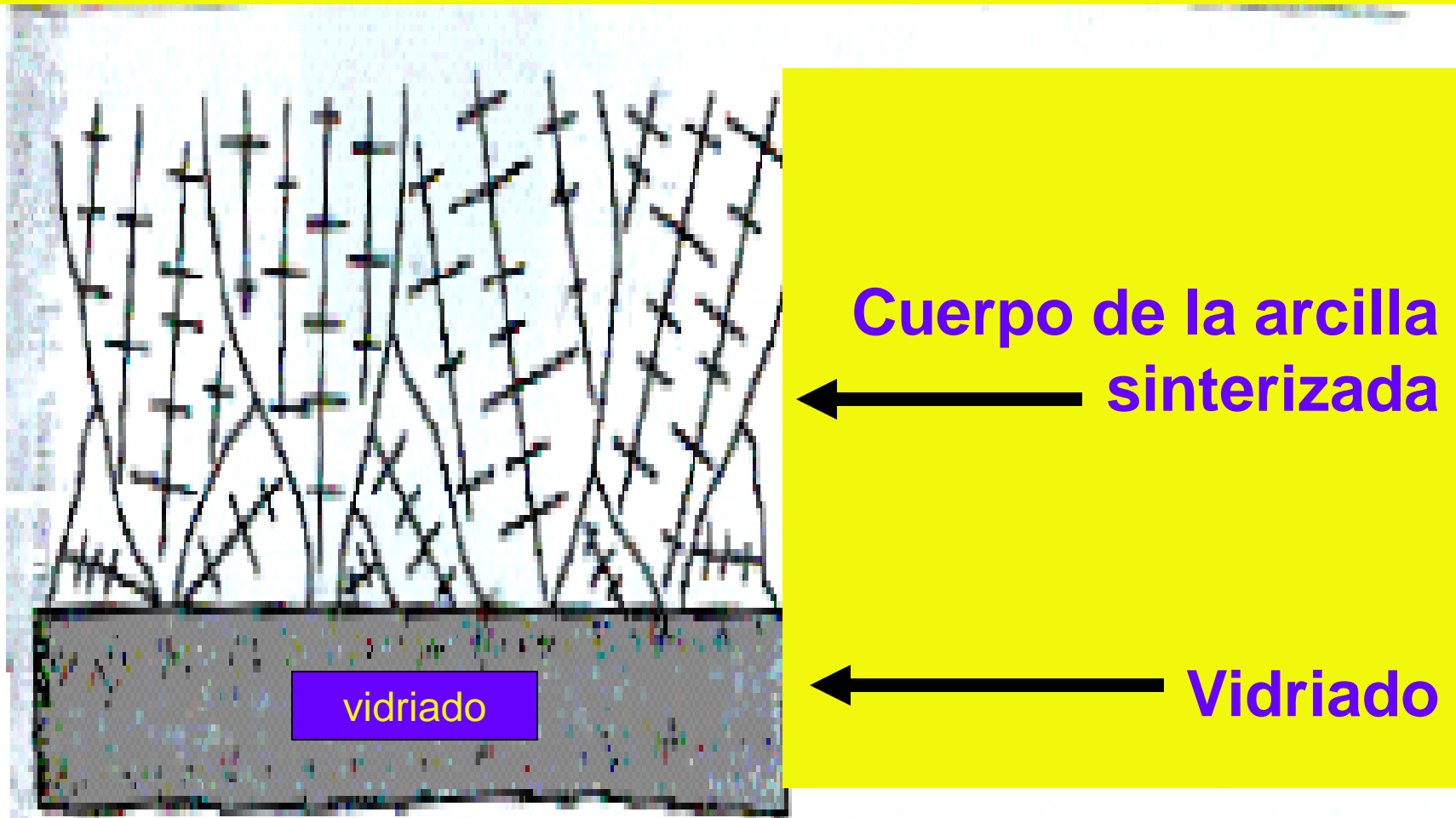
Partly sintered product

Vidriado de cerámicos

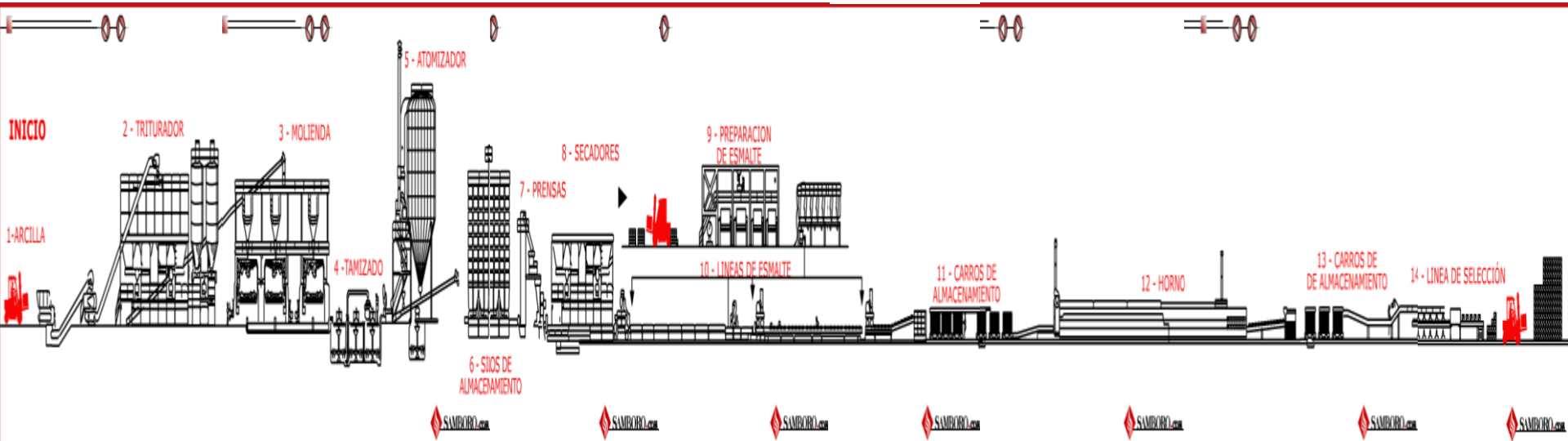
arcilla+óxido metálico



700°C-1200°C



Proceso de fabricación de pisos cerámicos

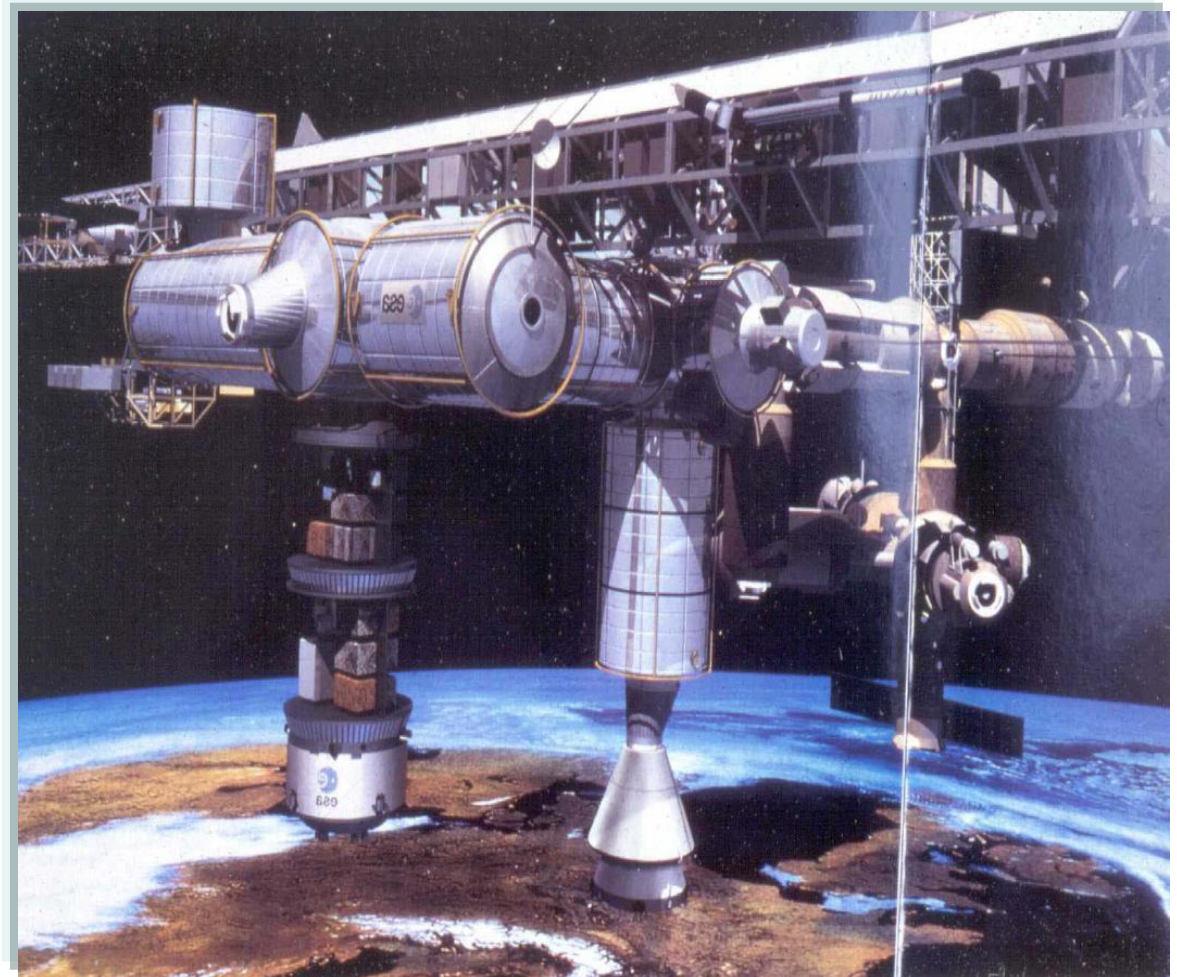


MATERIALES REFRACTARIOS

- Los materiales refractarios son aquellos que por su baja conductividad térmica y resistencia a las altas temperaturas permiten controlar la emisión de calor ya sea resistiendo, conteniendo o aislando los cambios térmicos al tiempo que generan un ahorro de energía, de combustible y de tiempos de calentamiento.

CLASIFICACIÓN DE MATERIALES REFRACTARIOS

- Ácidos:
 SiO_2
 ZrO_2
- Básicos:
 CaO
 MgO
- Neutros:
 Al_2O_3
 Cr_2O_4



MATERIAL: LADRILLOS REFRACTARIOS

ESPECIFICACIONES TECNICAS:

1. Dimensiones:

Longitud: 230 +/-2 mm.

Ancho: 114 +/-1,5 mm.

Altura: 64 +/-1 mm (ladrillos tipo 64) y 76 +/-1 mm (ladrillos tipo 76).

2. Composición química:

SiO₂ (Oxido de Silicio) (%) : 75,0 Mín.

Al₂O₃ (Oxido de Aluminio) (%) : 18,0 Mín.

TiO₂ (Oxido de Titanio) (%) : 1,3 Máx.

Fe₂O₃ (Oxido Férrico) (%) : 1,8 Máx.

CaO+MgO+Na₂O+K₂O (Alkalis)(%) : 3,0 Máx.

3. Propiedades físicas:

Densidad Aparente (g/cm³) : 1,9

Porosidad aparente (%) : 22,0 Máx.

Resistencia a la Compresión en Frío (N/mm²) : 20,0 Mín.

Resistencia a la Compresión (N/mm²) bajo carga a 1300 °C : 2,0 Mín.

Refractariedad (%) : 28,0 Mín.

Expansión Reversible A 1000 °C (%) : 0,7 Mín.

Conductividad Térmica (W/Mk) a:

400 °C : 0,99.

600 °C : 1,07.

800 °C : 1,15.

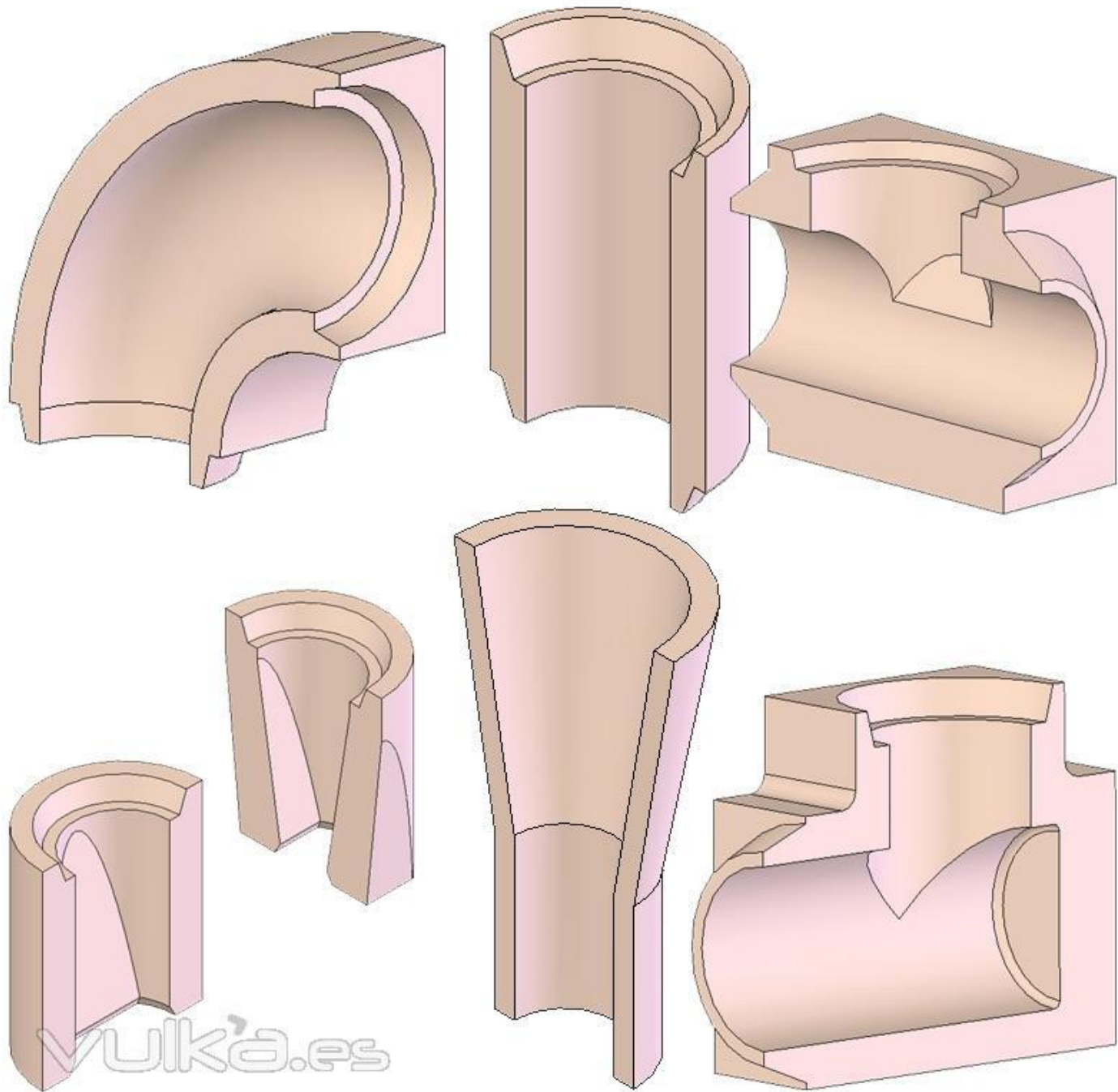
1000 °C : 1,23.

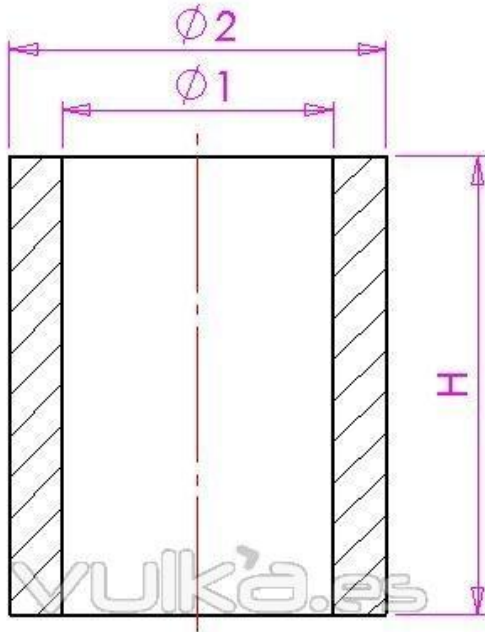
4. Forma y presentación: Los ladrillos deben estar embalados sobre paletas de madera, flejados y cubiertos con plástico.

REQUERIMIENTO ANUAL APROXIMADO: 130.000 piezas de ladrillos tipo 64 y 160.000 piezas de ladrillos tipo 76.

materiales refractarios



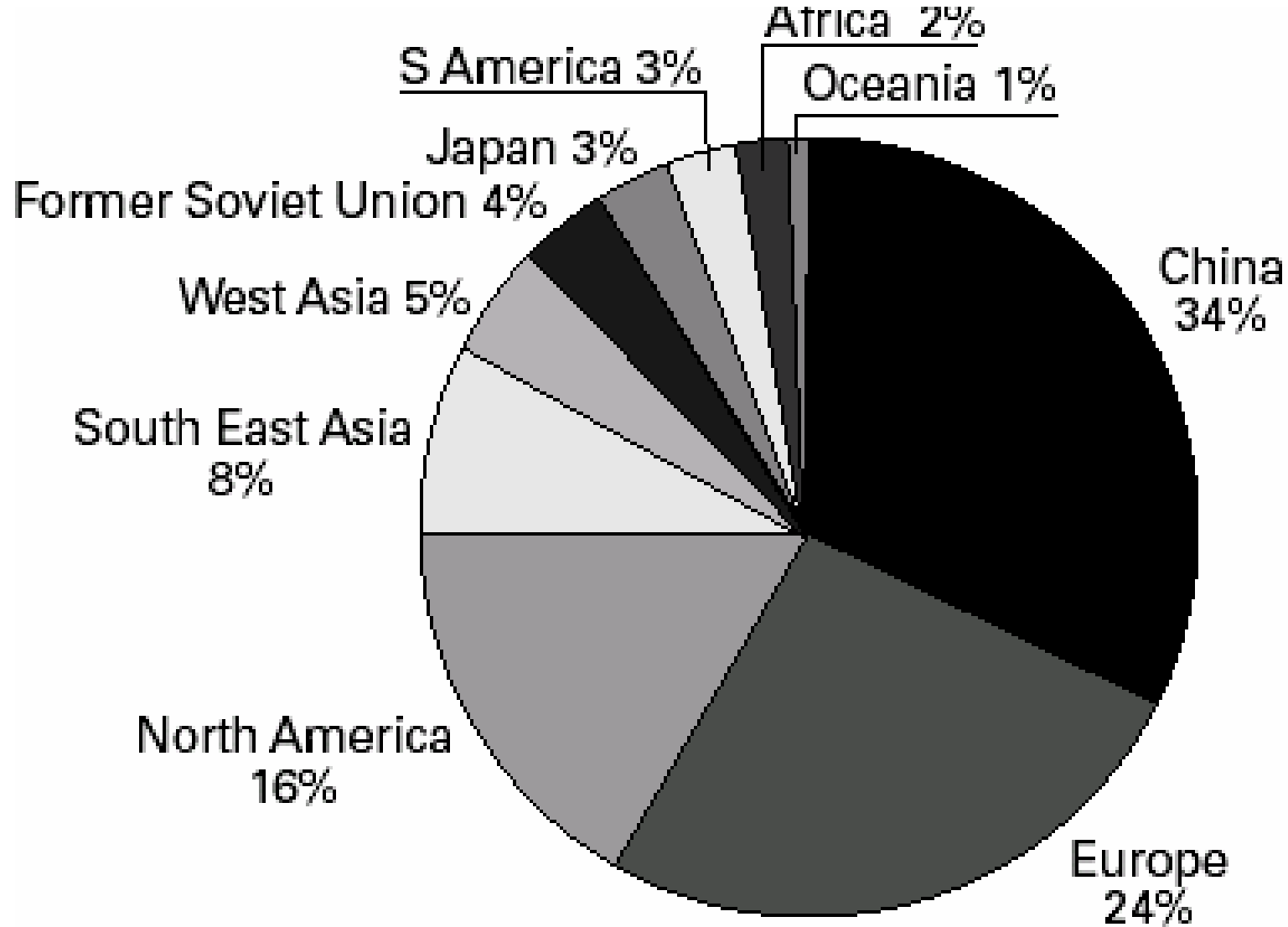






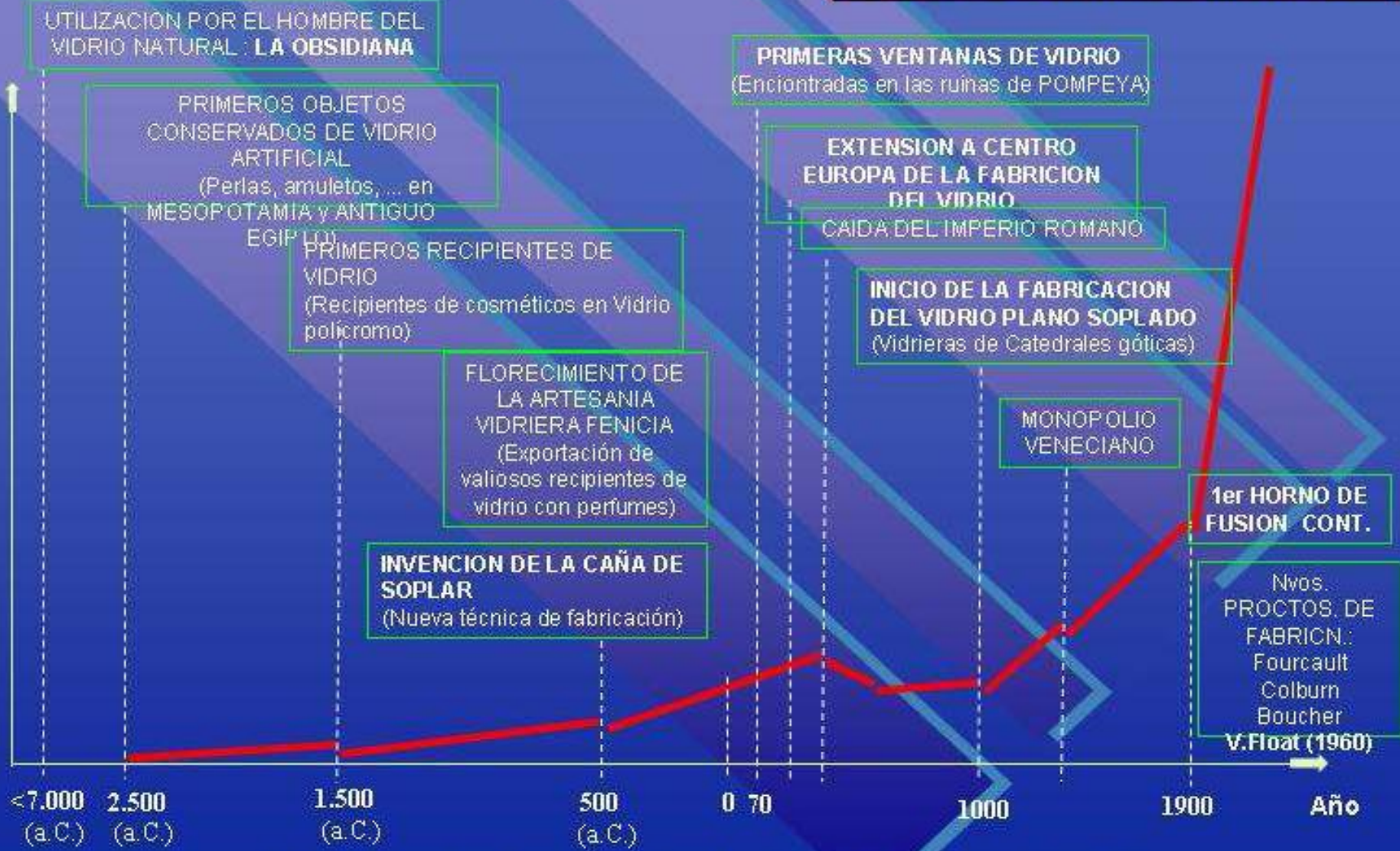
VIDRIOS

Julio Aguilar



Tanto por ciento de producción de vidrio plano por países y zonas del mundo.

EL VIDRIO : Un material en evolución



HITOS MAS DESTACABLES de la HISTORIA del VIDRIO

CLASIFICACION GENERAL DE PRODUCTOS DE VIDRIO (I)



CLASIFICACION GENERAL DE PRODUCTOS DE VIDRIO (II)

EL VIDRIO : Un material en evolución



- **Vidrios:**

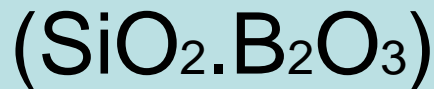
- vidrio de calcio y sodio:



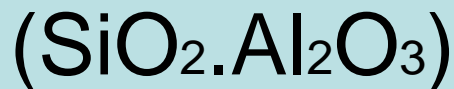
- Vidrio de plomo alcalino:



- Vidrio de borosilicato:

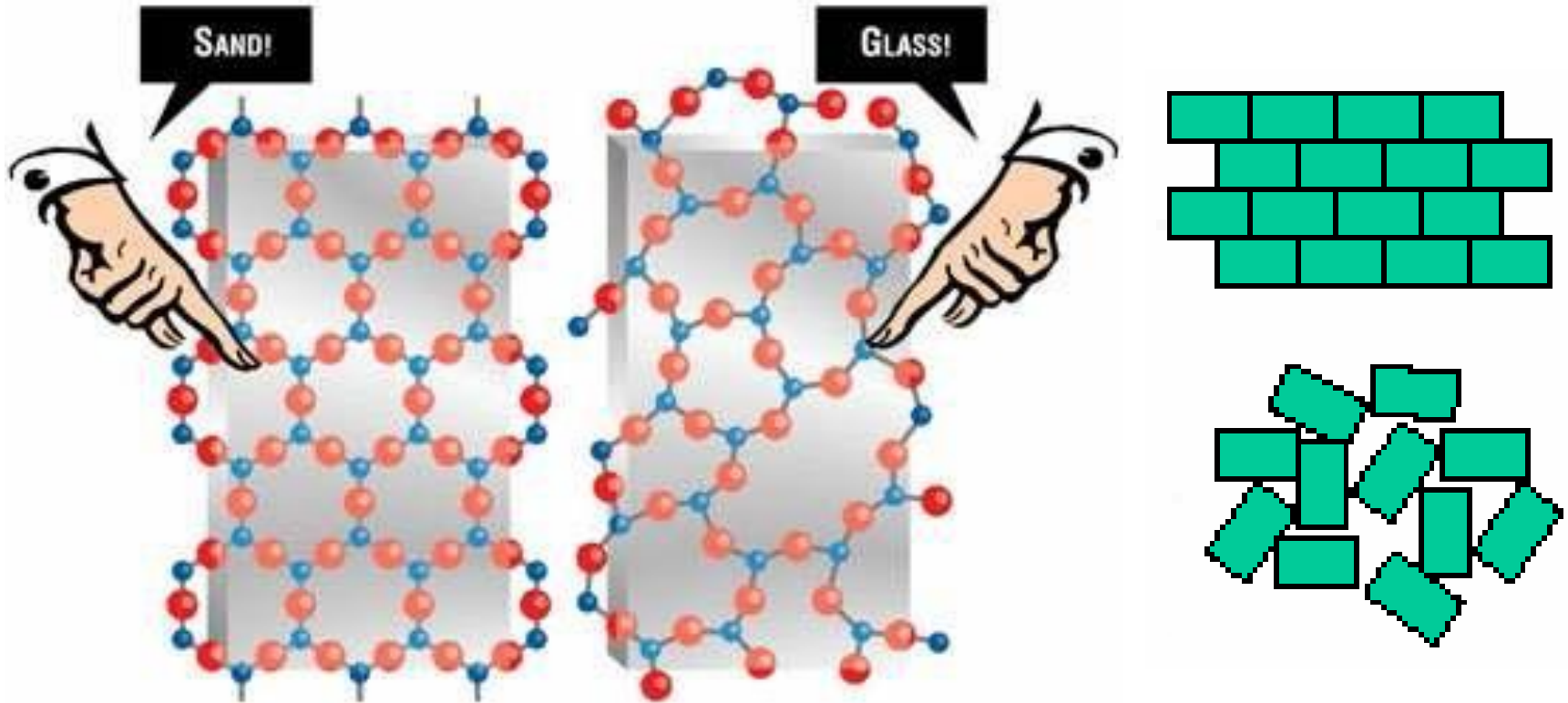
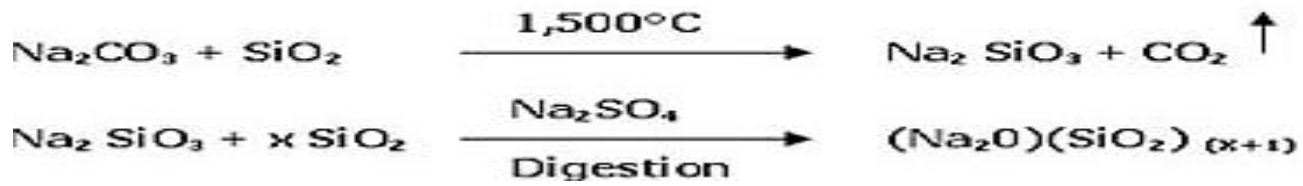


- Vidrio de aluminosilicato:

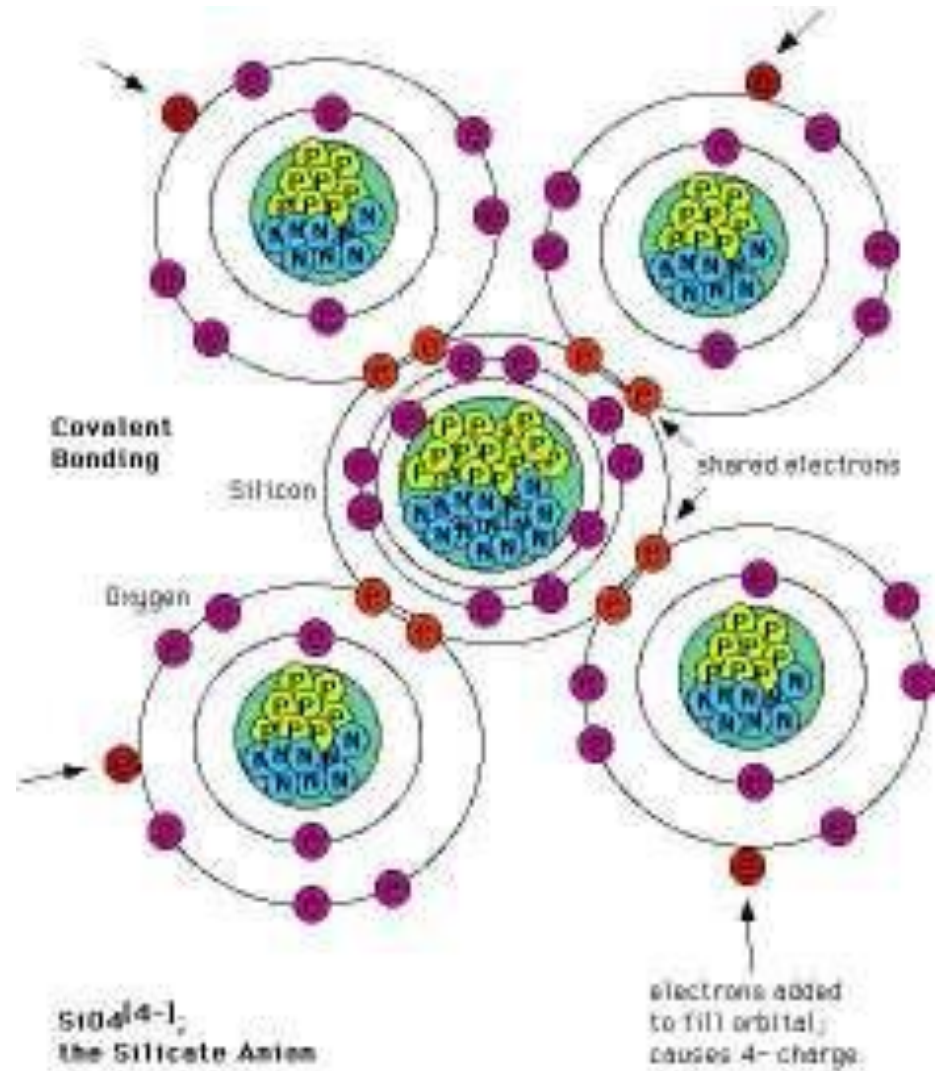
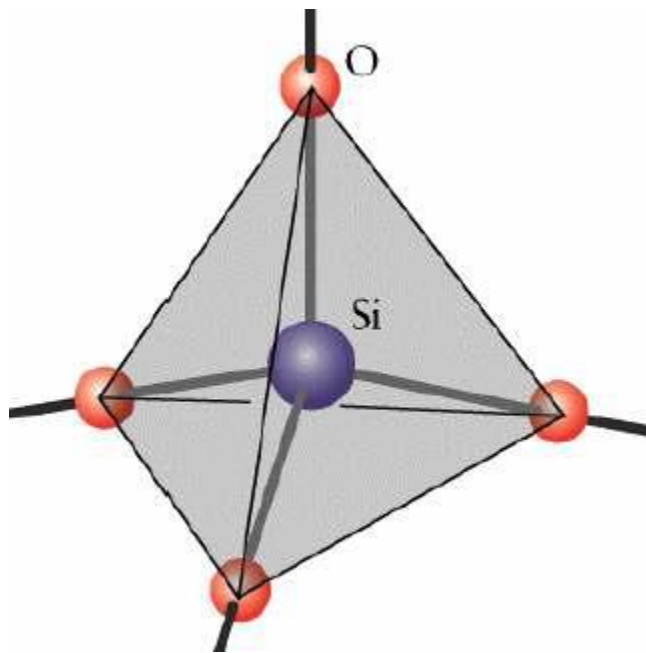


- Vidrio de silice pura:



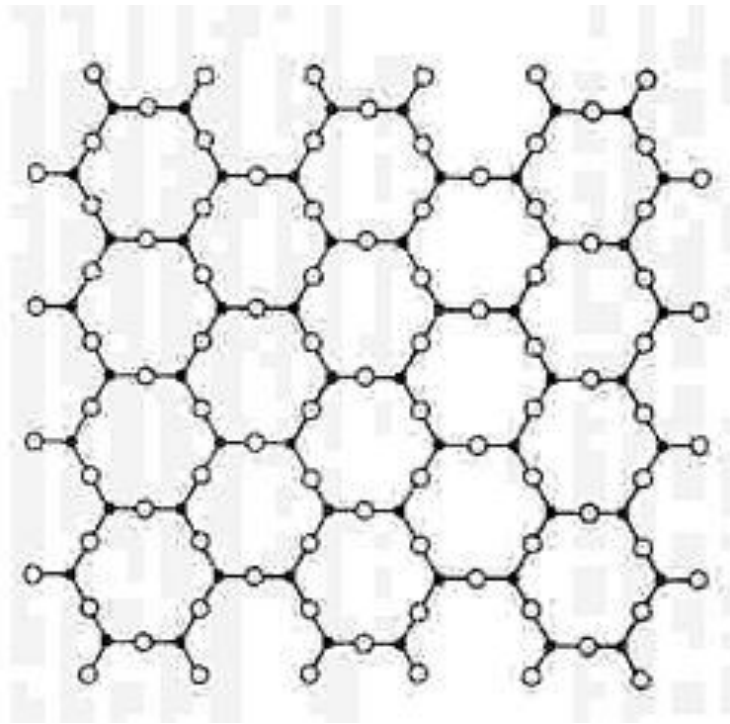


Representación gráfica de las diferencias estructurales entre un cristal (a) y un vidrio (b).

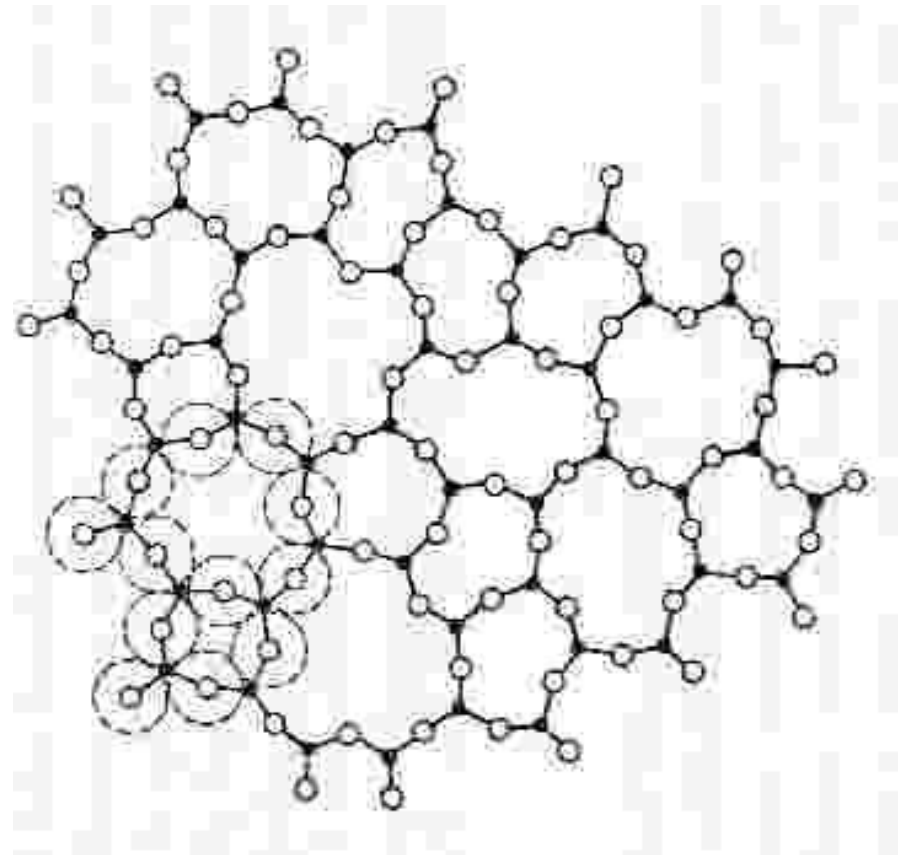


The silicon atom is actually much smaller than the oxygen

Un tetraedro silicio-oxigeno SiO_4



Cristal organizado de SiO₂.

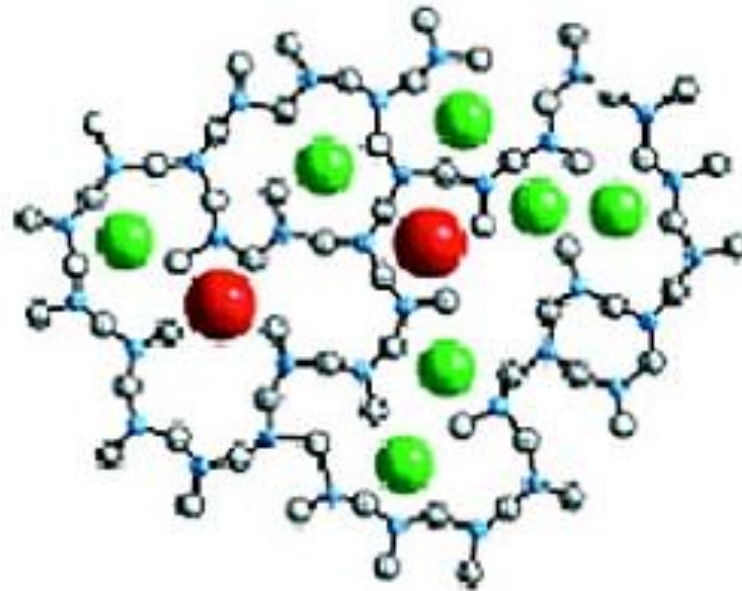
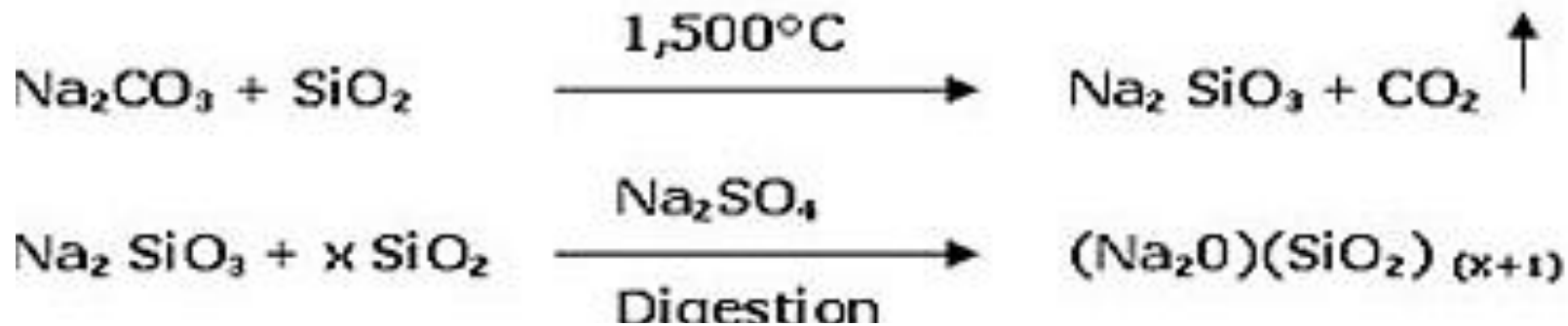


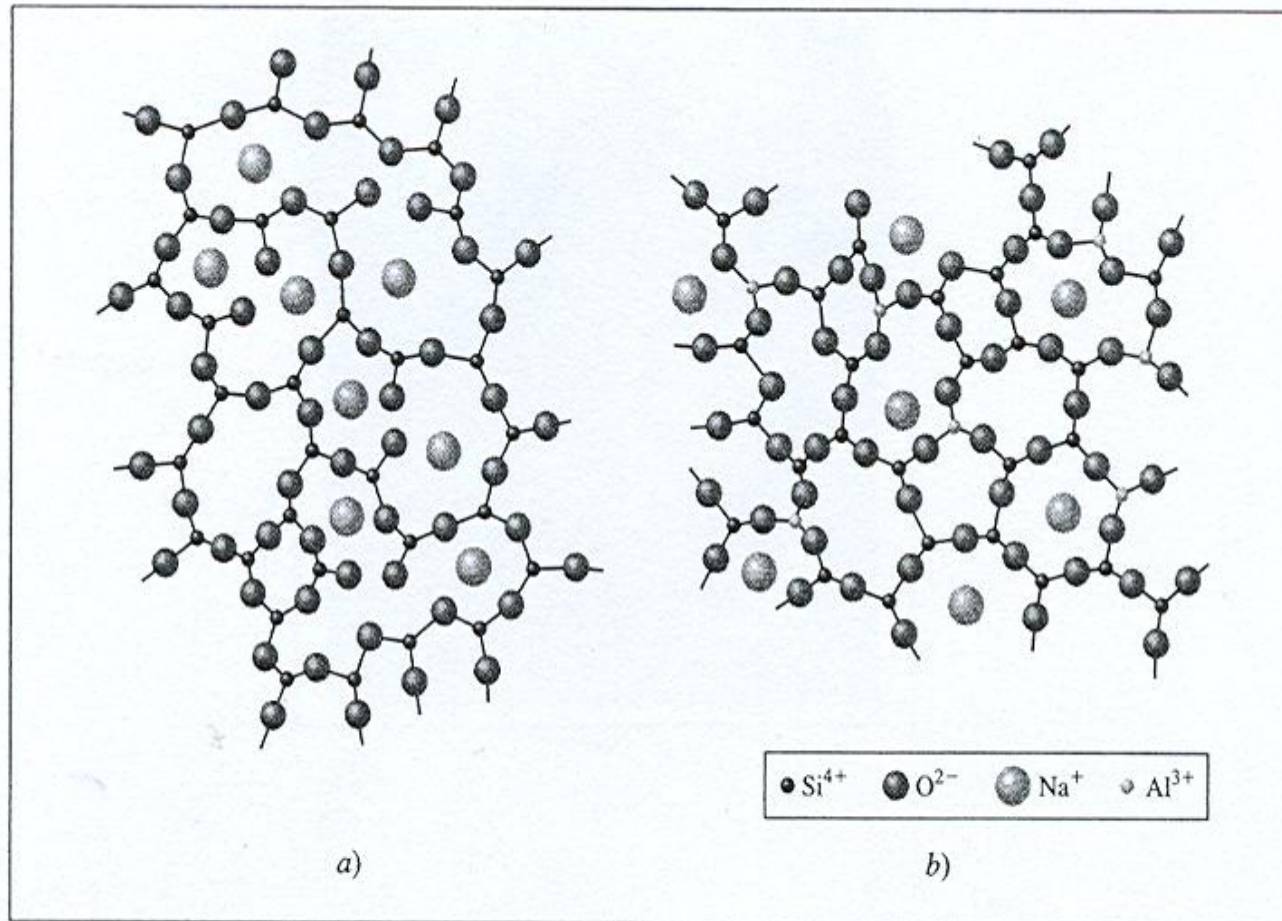
SiO₂ en estado vítreo

Intervalos de composición frecuentes en los vidrios comunes

Componente	Desde ... %	... hasta %
SiO₂	68,0	74,5
Al₂O₃	0,0	4,0
Fe₂O₃	0,0	0,45
CaO	9,0	14,0
MgO	0,0	4,0
Na₂O	10,0	16,0
K₂O	0,0	4,0
SO₃	0,0	0,3

Química del Vidrio: Reacciones Básicas



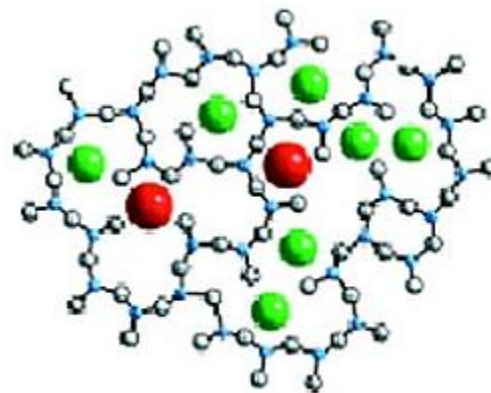
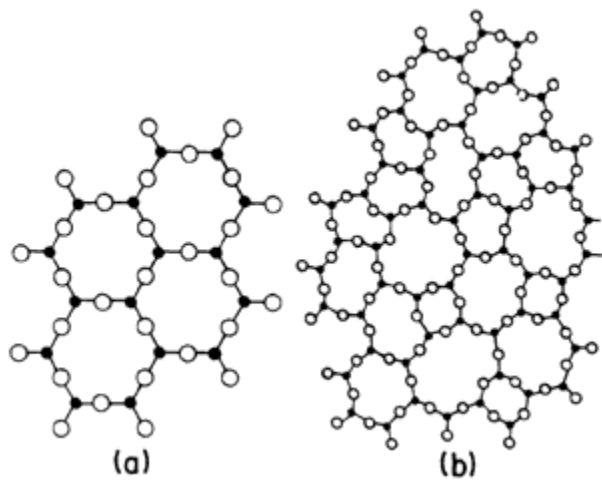


a)

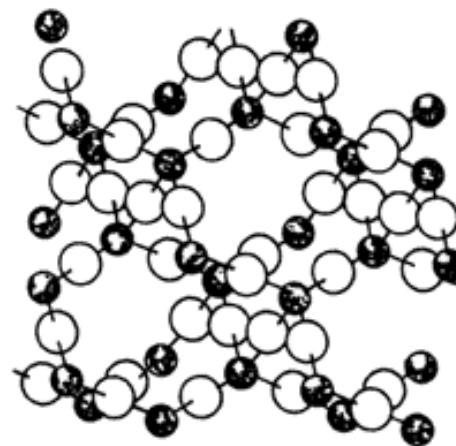
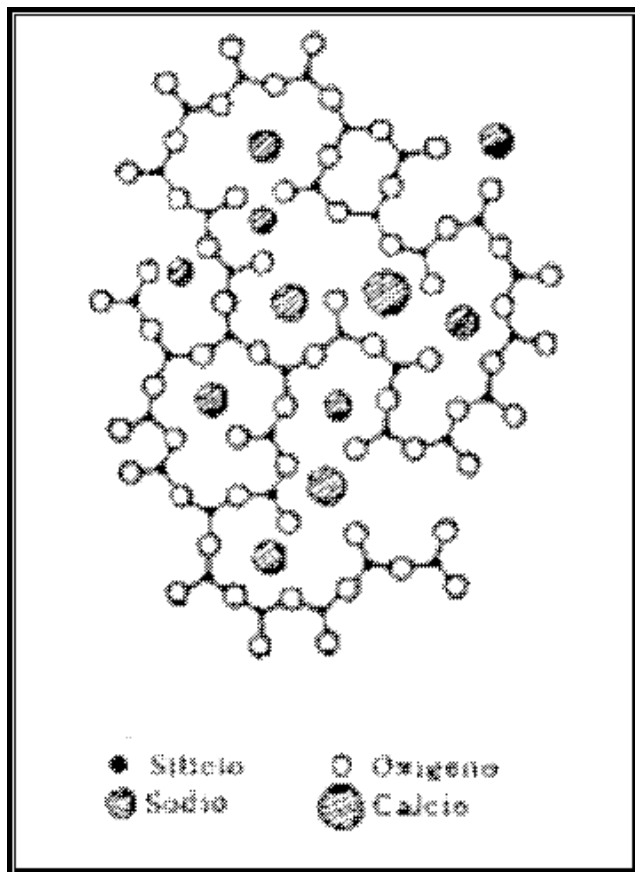
b)

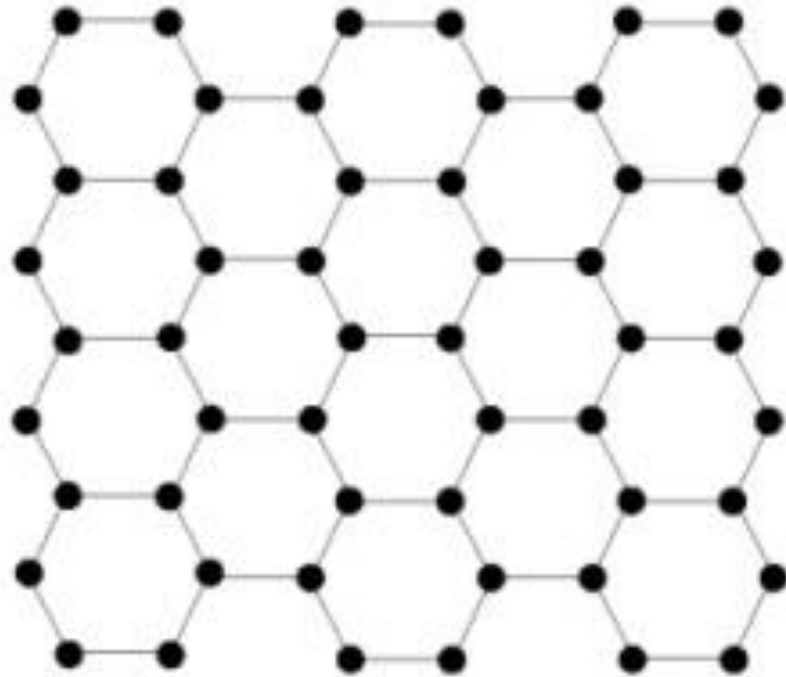
(Según O. H. Wyatt y D. Dew-Hughes, «Metals, Ceramics, and Polymers», Cambridge, 1974, p. 263.)

FIGURA 10.54. a) Vidrio de red modificada (vidrio sodo-cálcico); obsérvese que los iones metálicos (Na⁺) no forman parte de la red, y b) vidrio de óxido intermediario (alúmina-sílice); obsérvese cómo los pequeños iones metálicos (Al³⁺) forman parte de la red.

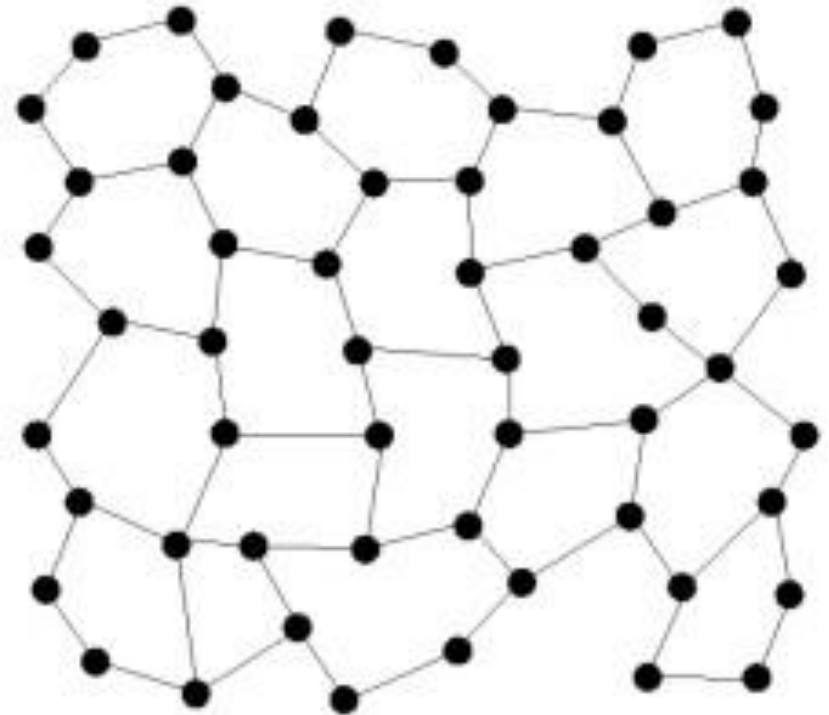


● Calcio ● Sodio ○ Ossigeno ● Silicio

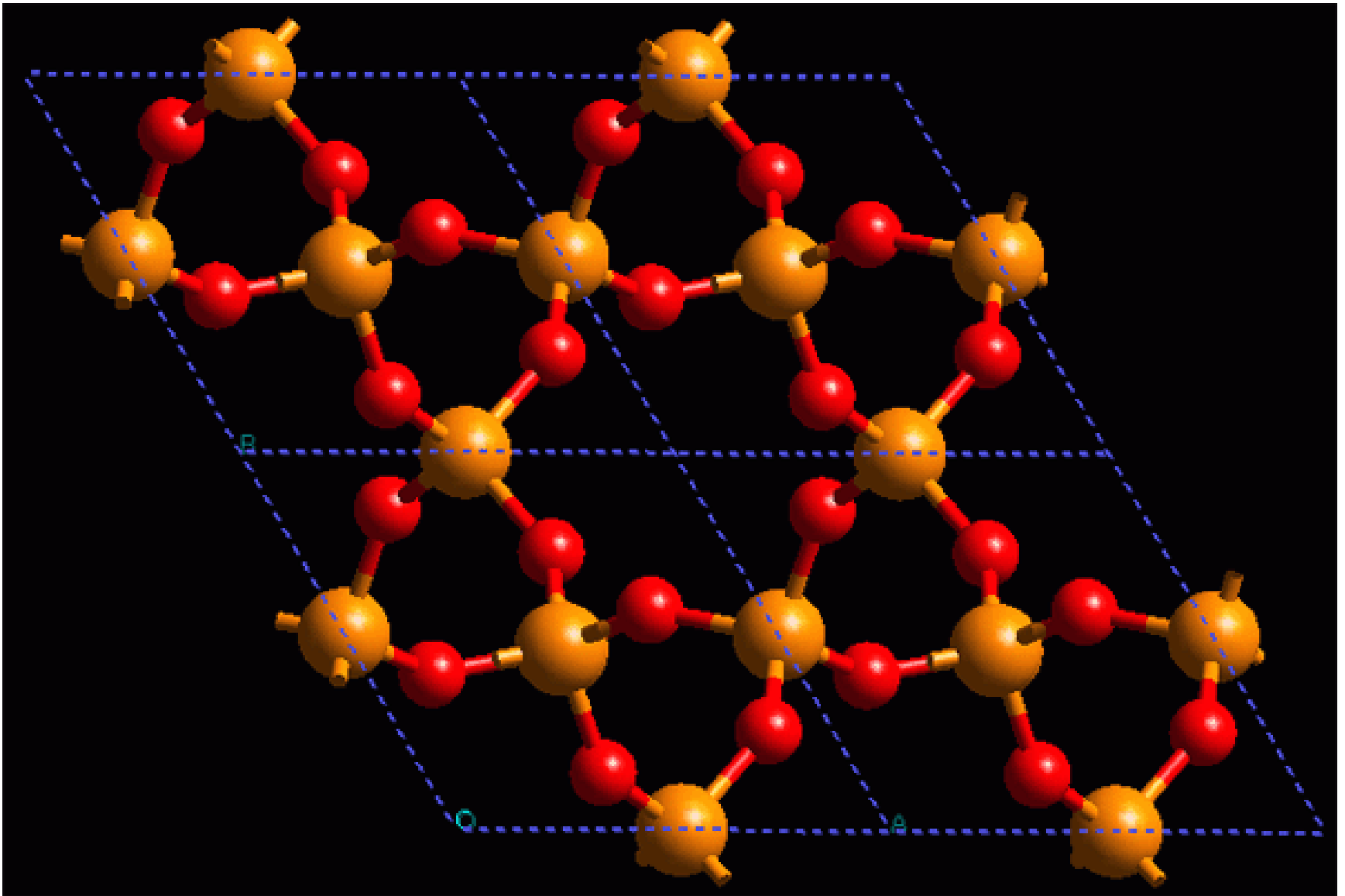




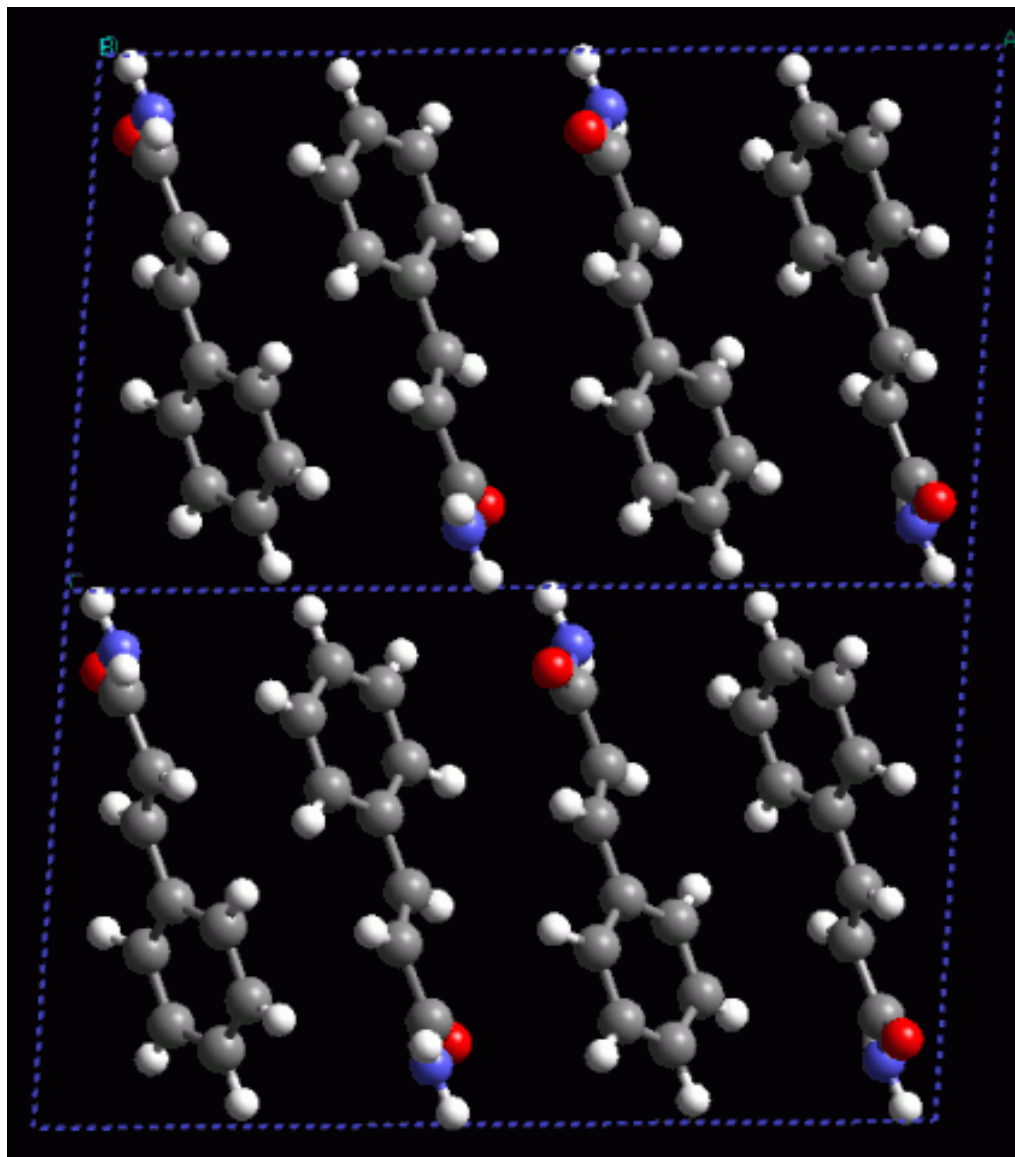
***Modelo atómico en un material
ordenado (cristal)***



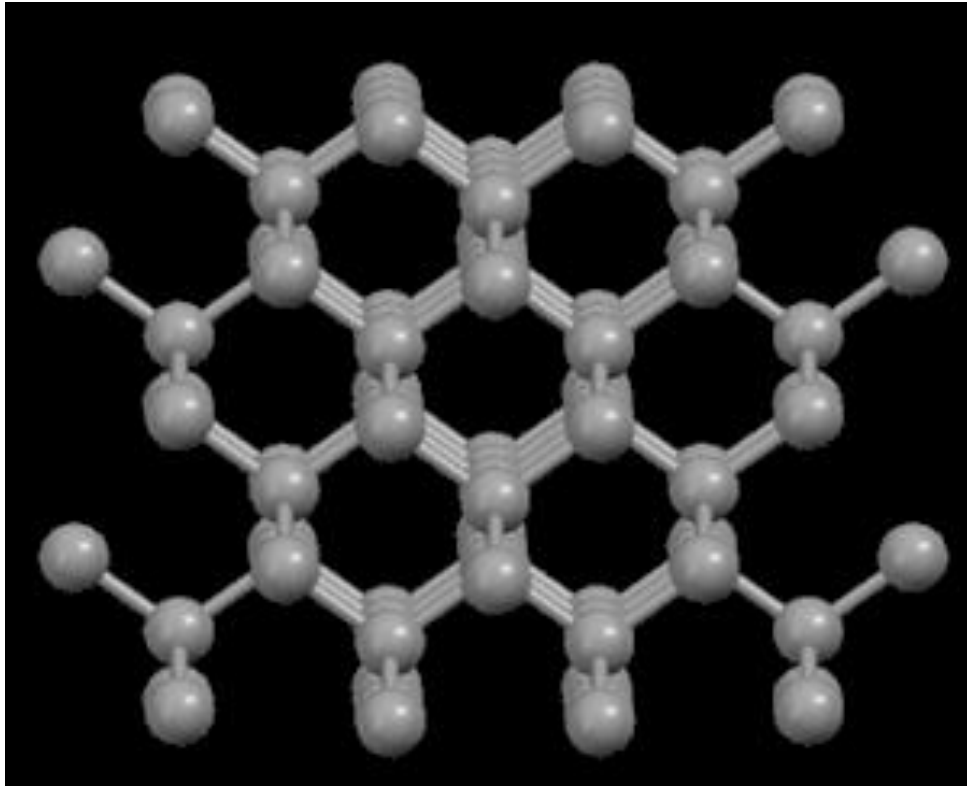
Modelo atómico de un vidrio



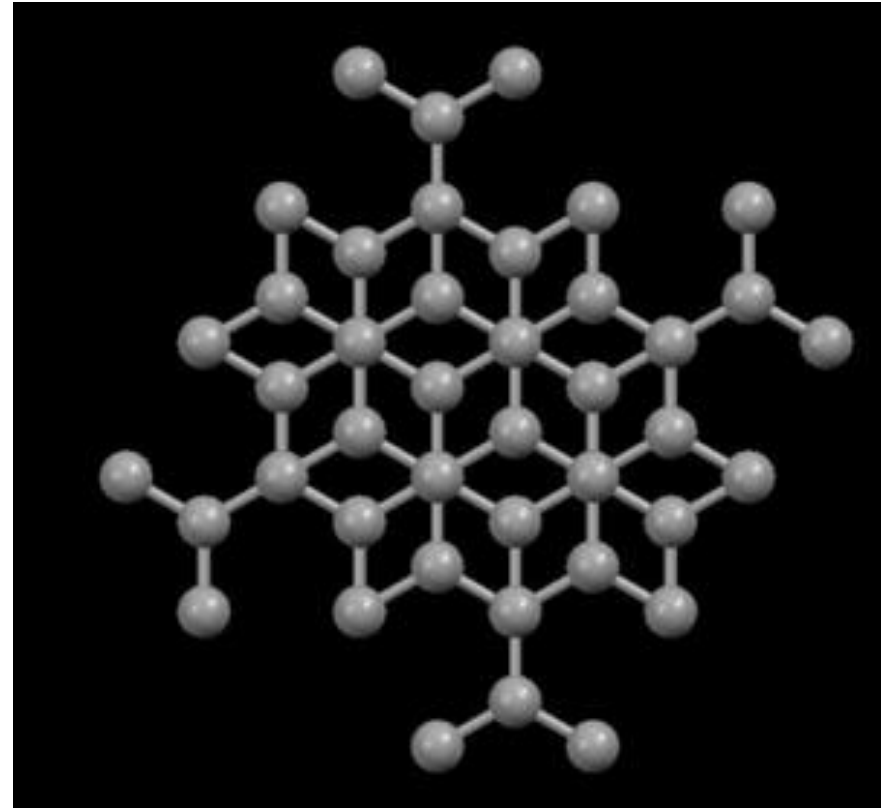
Estructura cristalina de un material inorgánico: el alfa-cuarzo



Estructura cristalina de un material orgánico: cinnamida

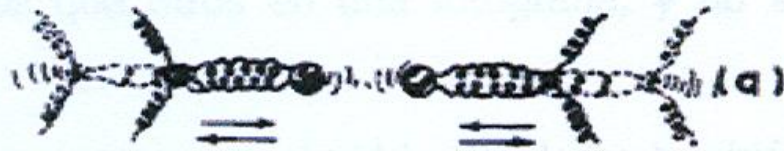
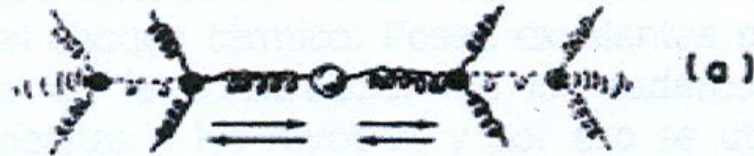


Diamante, con estructura muy compacta



Grafito, con estructura atómica en láminas

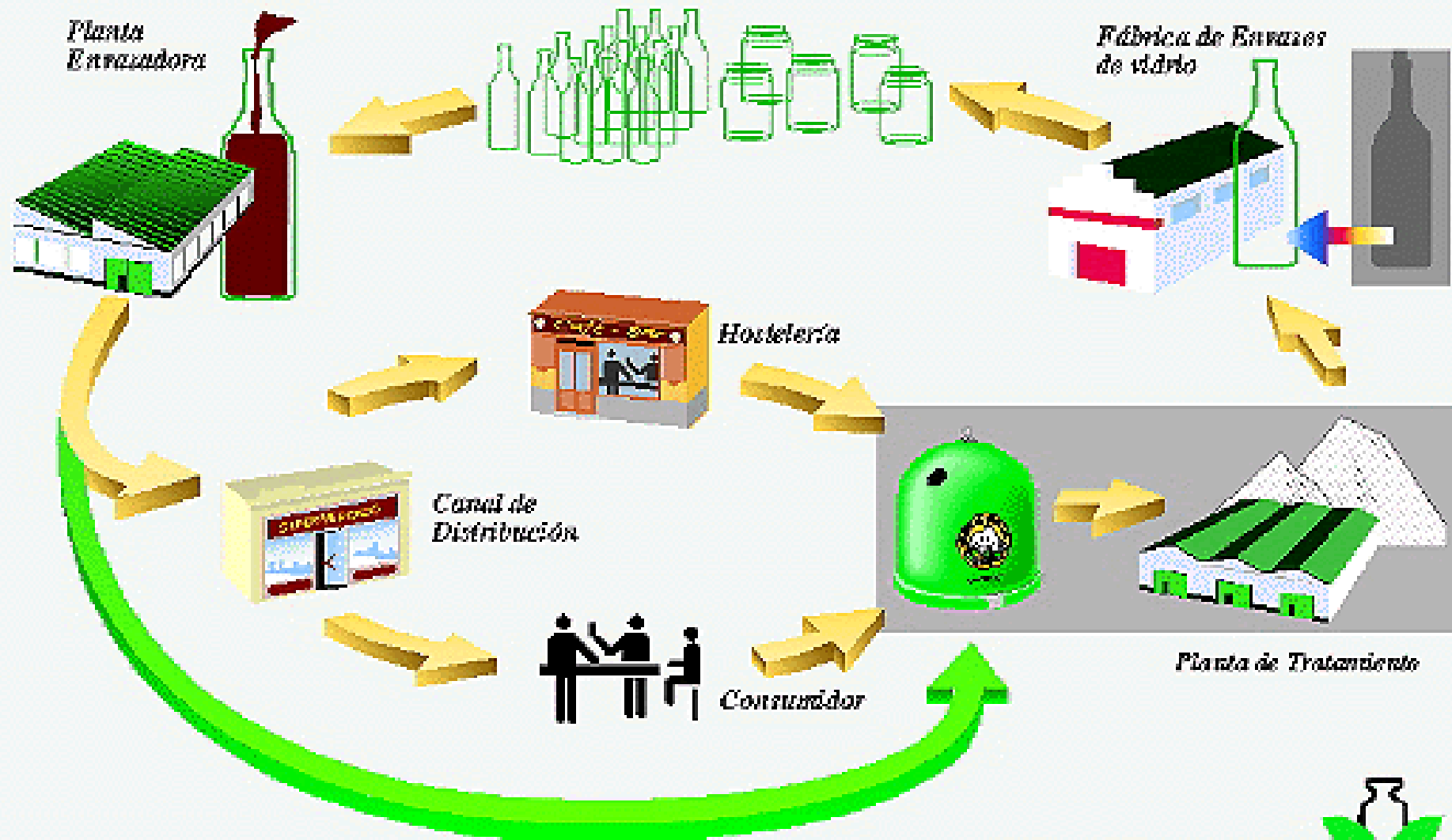
Modelo de vibración de las moléculas del vidrio al ser calentadas y al ser enfriadas



- Silicio
- ⊙ Oxígeno
- Sodio

Vibraciones en la molécula de SiO_2 .

Circuito del Reciclado del Vidrio



Centro del Envase de Vidrio



Aplicaciones del Vidrio

Vidrio Float

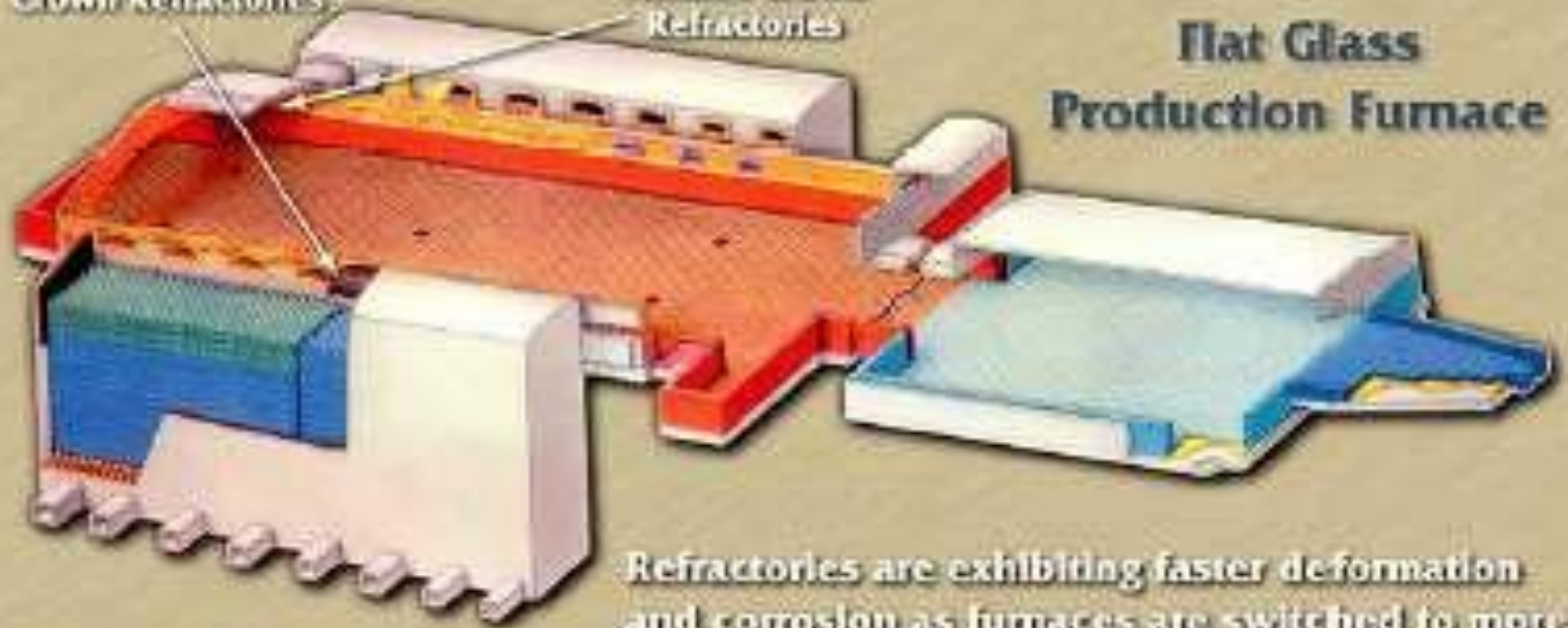
Debido a que la superficie del estaño es plana la del cristal así obtenido también lo es. La lámina es enfriada lentamente mientras sigue flotando sobre el estaño, hasta que con sus superficies lo suficientemente endurecidas, emerge del mismo y continúa avanzando sobre rodillos, sin que éstos afecten su cara inferior. De tal modo se produce en línea un cristal plano, libre de distorsión sin necesidad de recurrir a procesos posteriores de desbaste y pulido mecánico.



Regenerator
Crown Refractories

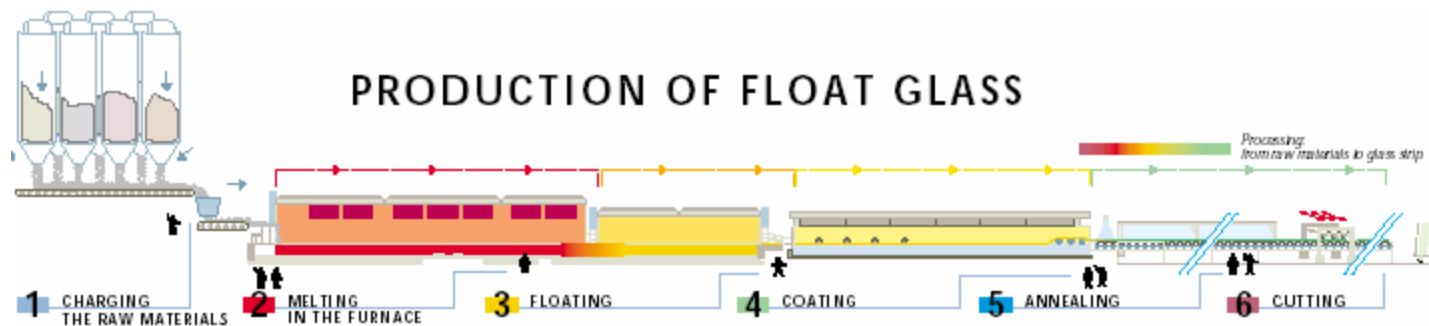
Furnace Crown
Refractories

Flat Glass Production Furnace



Refractories are exhibiting faster deformation and corrosion as furnaces are switched to more economical and efficient oxy-fuel firing

Regenerador de un horno de fusión.



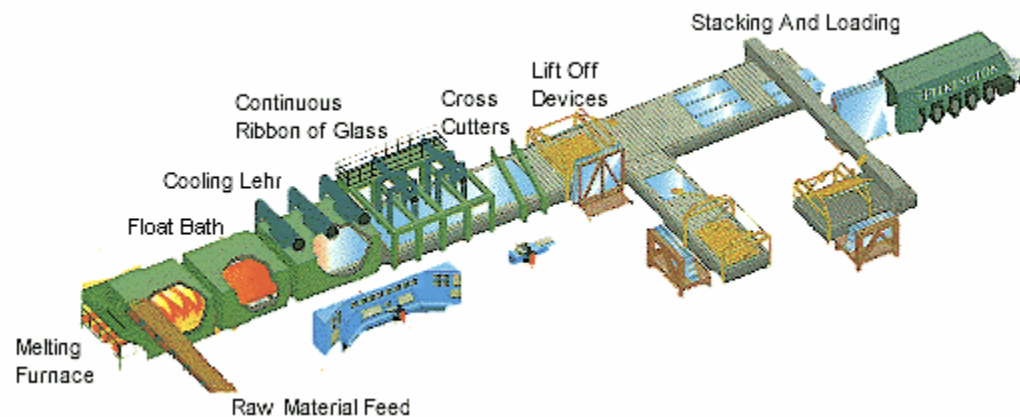
Introducción de materias primas

Fusión de materias primas (entre 1.500 y 2.000 ° C)

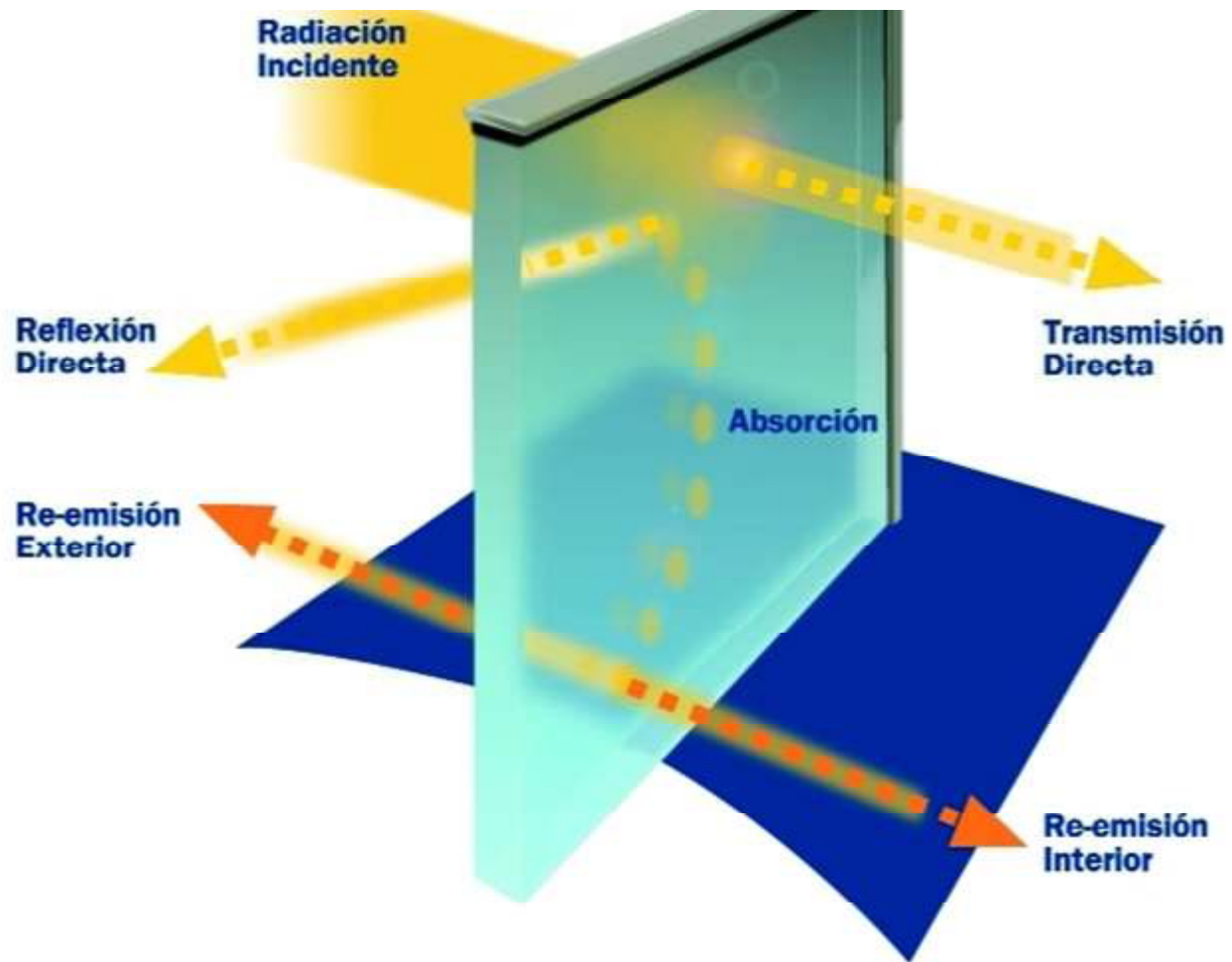
Formación de hoja de vidrio por flotación sobre baño de estaño (a 1.000 ° C)

Recocido

Control, corte y almacenamiento



Procedimiento de fabricación de vidrio plano flotado.



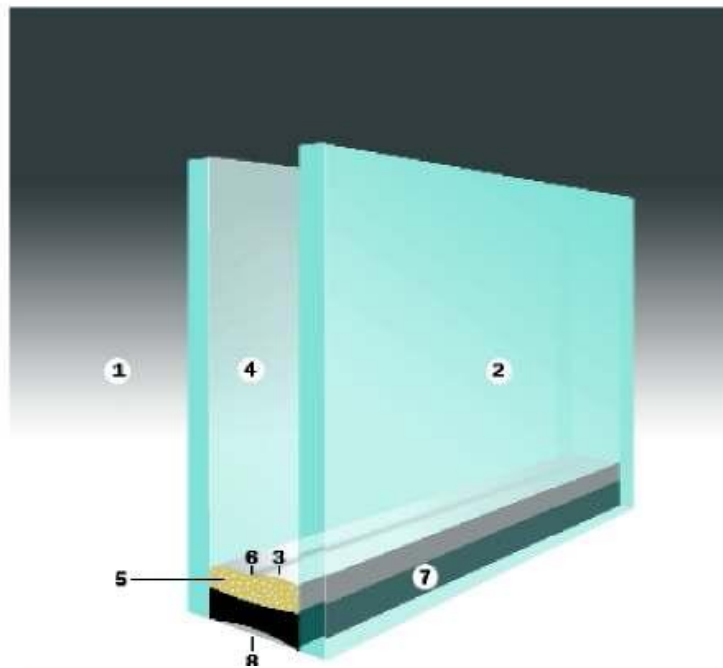


Estructura Vidrio Laminado

- 1. Hoja de Vidrio.
- 2. Lámina de butiral.
- 3. Hoja de Vidrio.

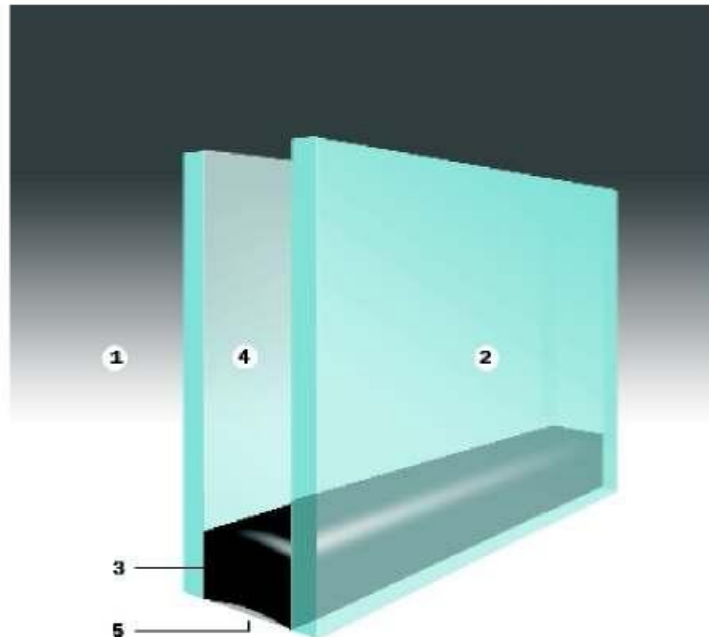


Estructura del vidrio laminado. Forma de la rotura ante un impacto



**Estructura
Doble
Acrisolamiento**

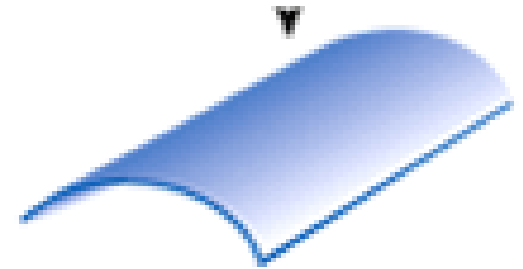
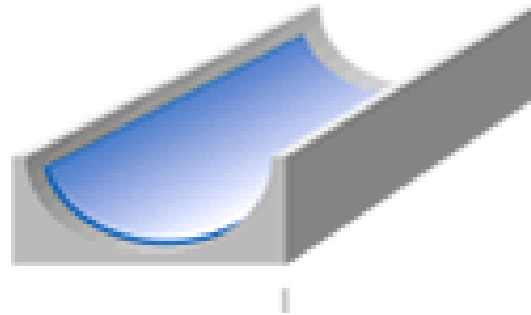
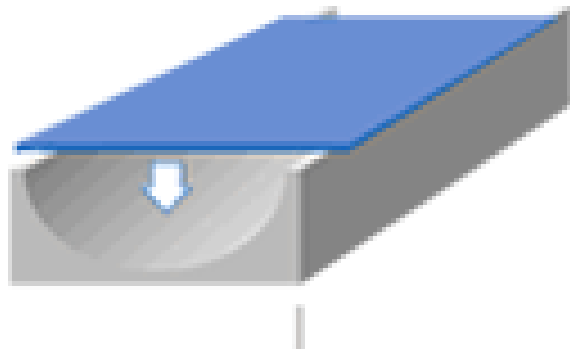
1. Vidrio.
(flotado, templado, laminado,
etc.)
2. Vidrio.
(flotado, templado, laminado,
etc.)
3. Intercalarlo metálico.
4. Cámara de aire.
5. Desecante.
6. Ranura de comunicación.
7. Butilo.
8. Silicona.



**Estructura
Doble
Acrisolamiento TPS**

1. Vidrio.
(flotado, templado, laminado,
etc.)
2. Vidrio.
(flotado, templado, laminado,
etc.)
3. Primer sellante (TPS).
4. Cámara de aire /gas.
5. Segundo sellante.
(silicona, etc.)

Esquema de un doble acristalamiento. Vidrio con cámara



Esquema de fabricación del cristal curvado



Primero, pasa una brocha con pintura blanca sobre un molde rectangular mientras la

ETAPAS DE FABRICACION DE BOTELLAS DE VIDRIO

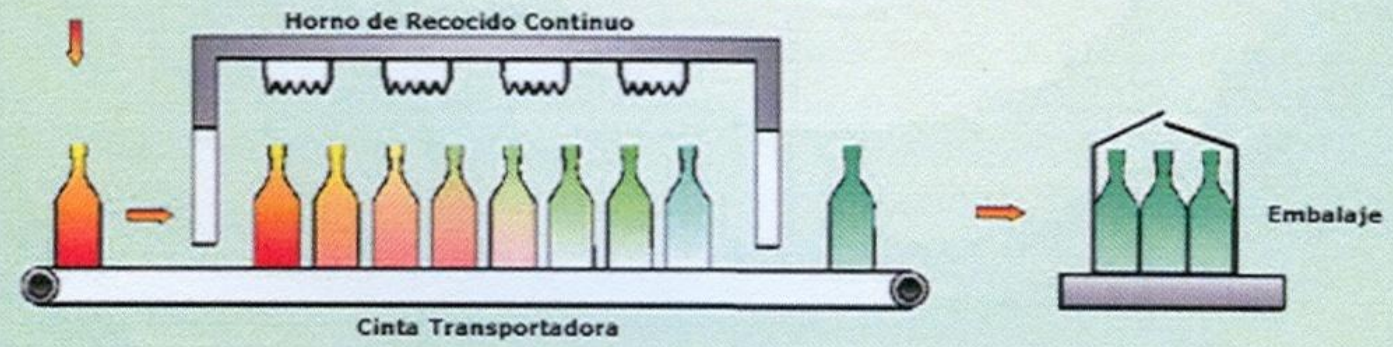
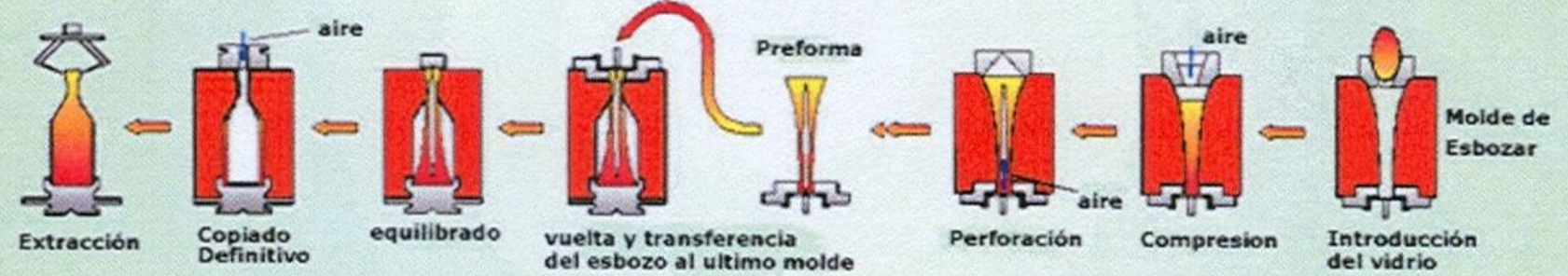
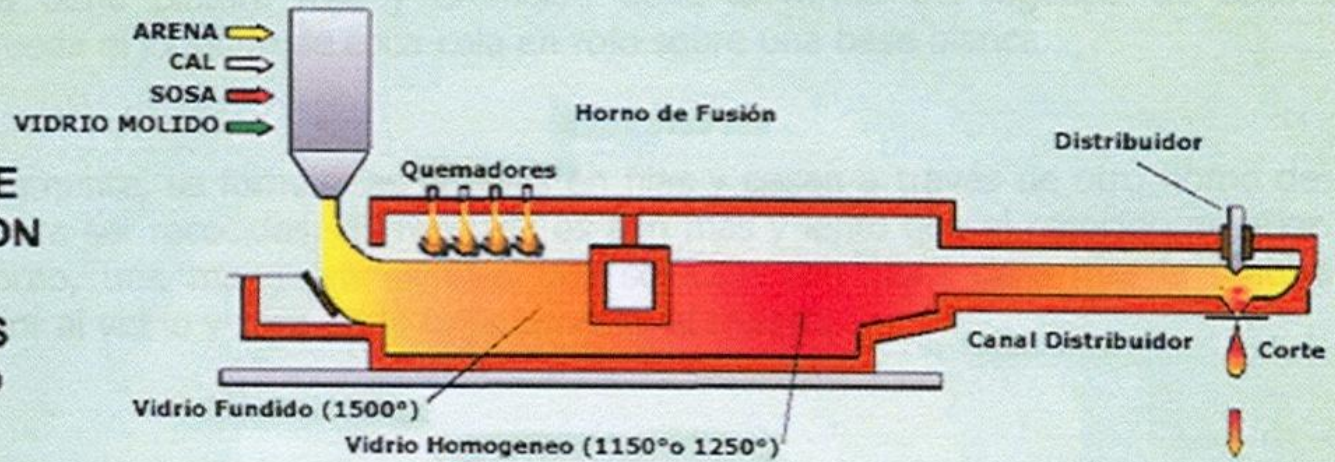
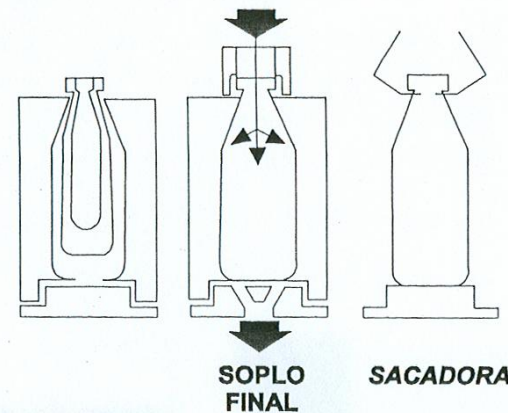
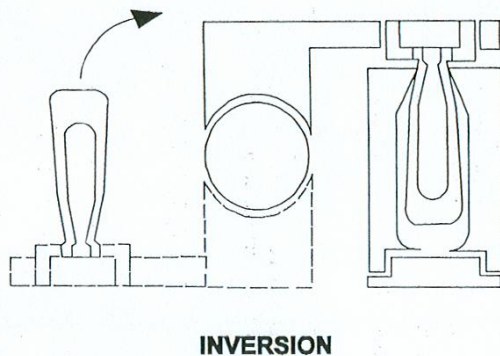
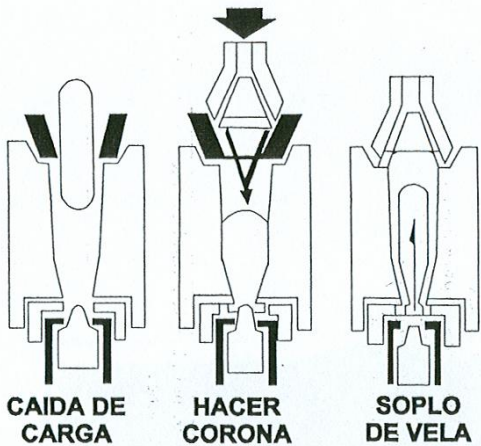


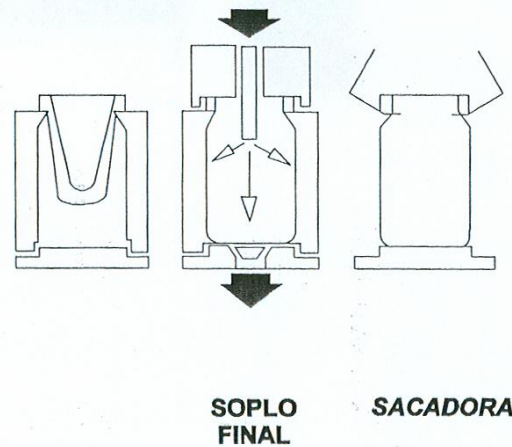
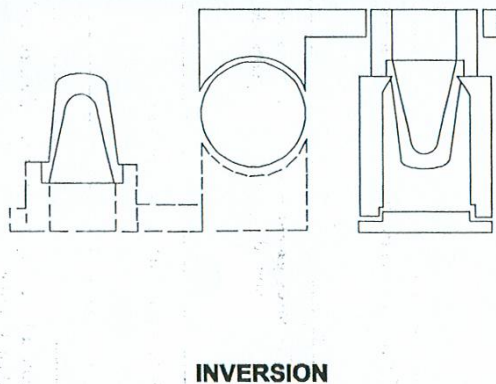
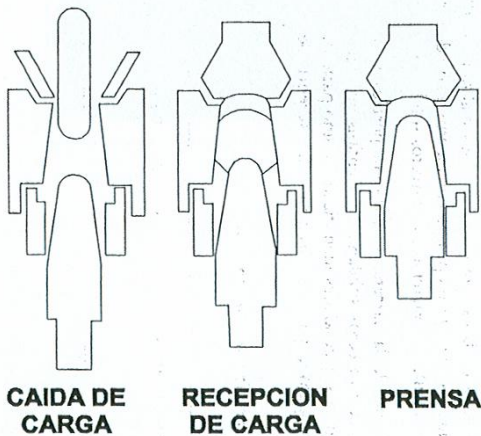
Figura Nº 3



A. SOPLO - SOPLO



B. PRENSA - SOPLO



PROCESOS DE FABRICACION DE ENVASES DE VIDRIO

FIGURA No. VII-1

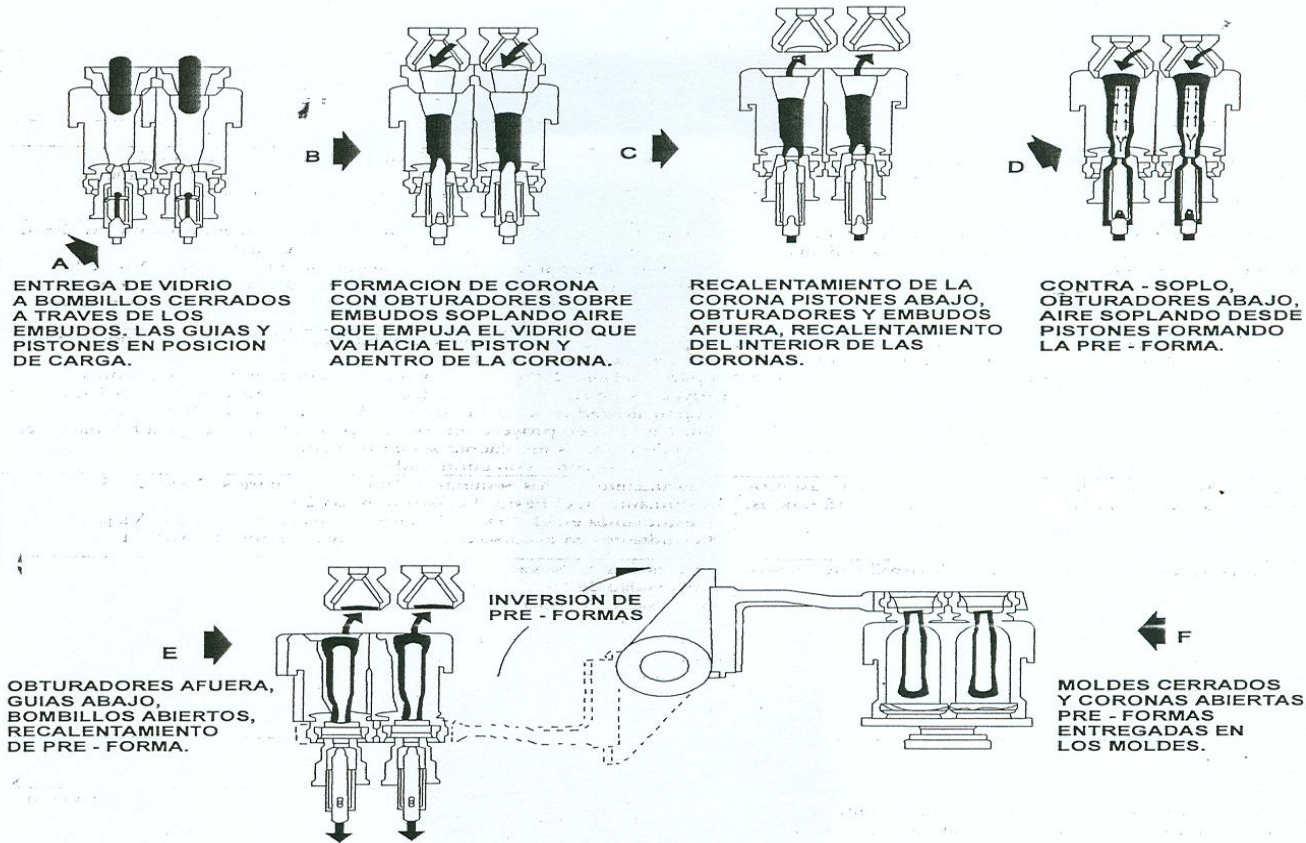
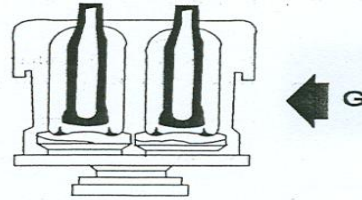
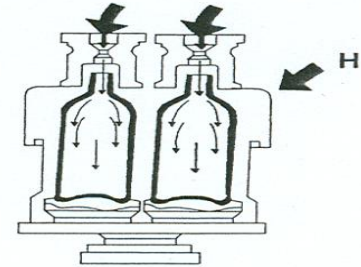


DIAGRAMA FUNCIONAL DEL CICLO DE PRE-FORMA Y DE FORMACION DE ENVASES POR MEDIO DEL PROCESO SOPLO - SOPLO

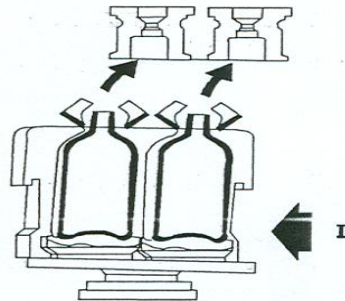
FIGURA No. VII-2A



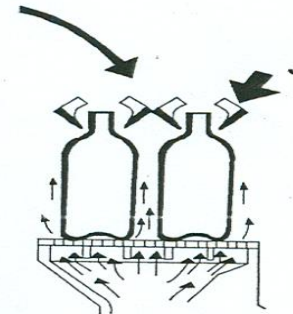
LA PRE - FORMA
SE RECALIENTA
Y SE ELONGA.



CABEZAS DE SOPLO ABAJO,
ENTRADA DE SOPLO FINAL,
FORMACION DE BOTELLAS
EN MOLDES.



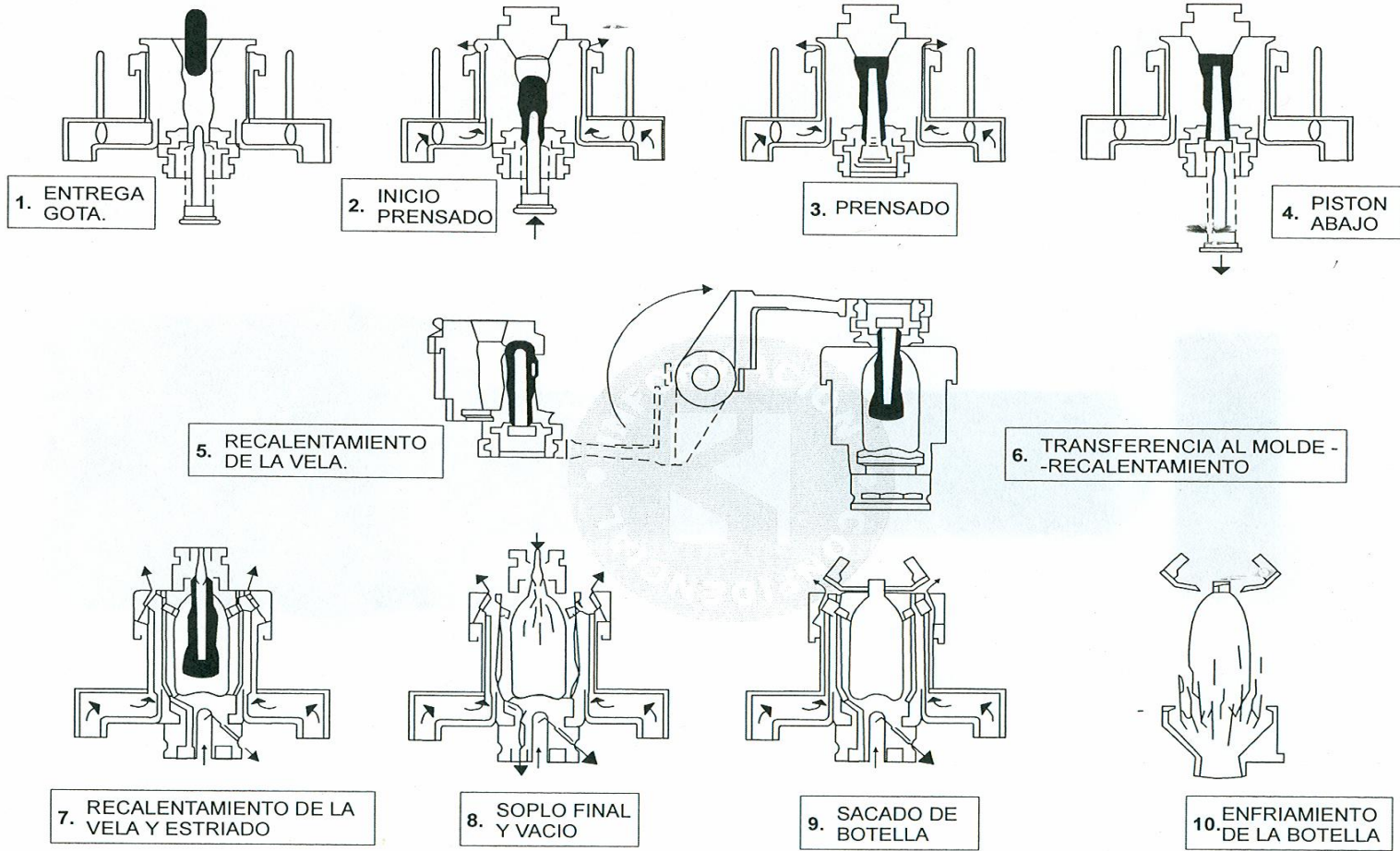
CABEZAS DE SOPLO AFUERA,
MOLDES ABIERTOS, BOTELLAS
TOMADAS Y SACADAS CON
DEDOS SACADORES.



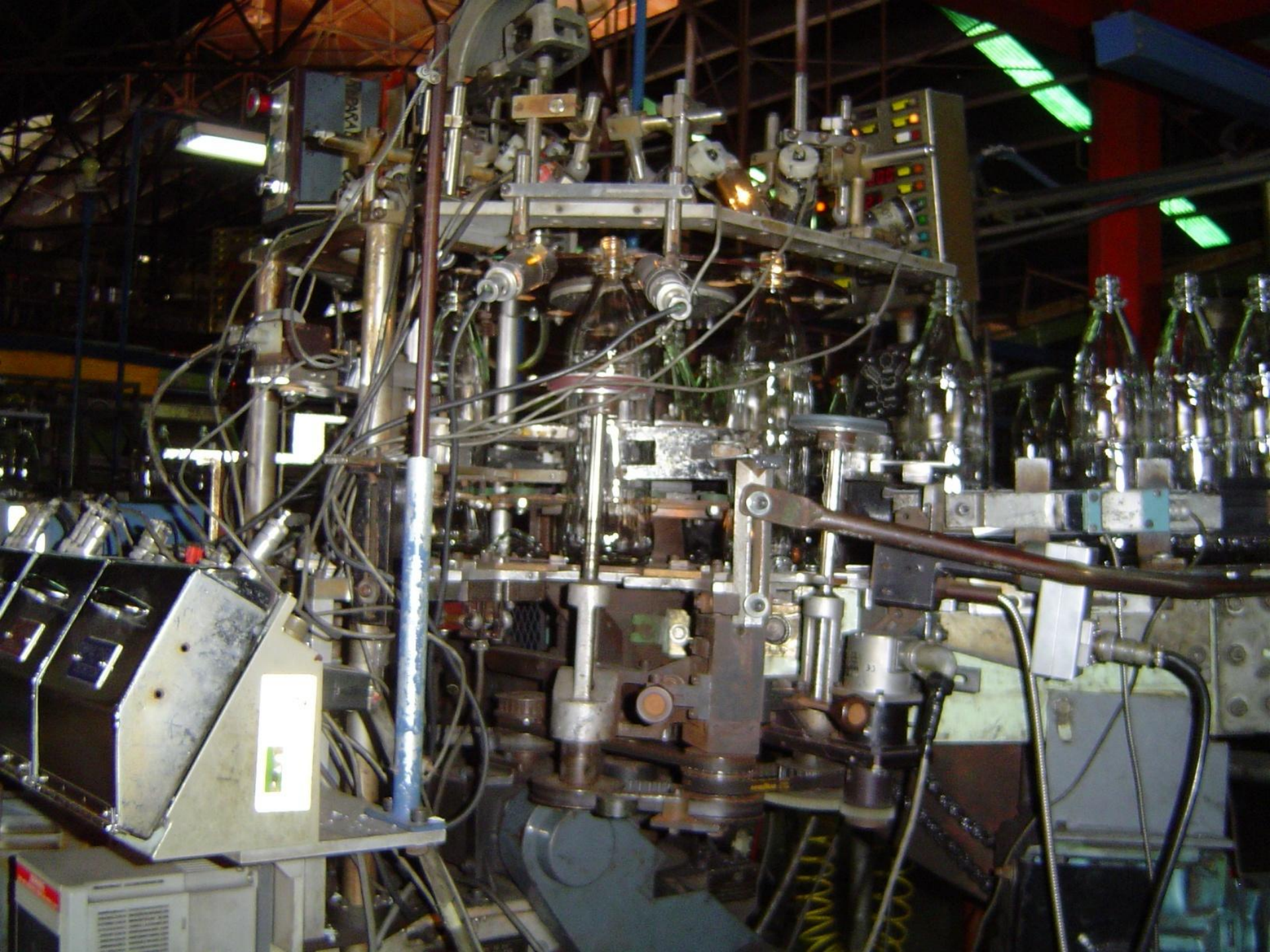
BOTELLAS MANTENIDAS POR
LOS DEDOS SACADORES SOBRE
LA PLACA MUERTA, SOLTADAS EN
LA PLACA MUERTA Y EMPUJADAS
HACIA LA BANDA ACARREADORA
POR EL EMPUJADOR DE 90° .

DIAGRAMA FUNCIONAL DEL CICLO DE PRE-FORMA Y DE FORMACION DE
ENVASES POR MEDIO DEL PROCESO SOPLO - SOPLO

FIGURA No. VII-2B



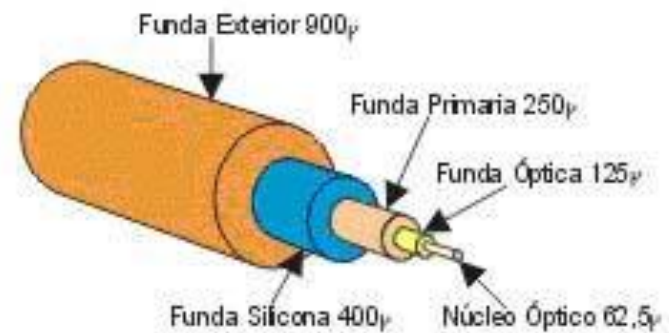
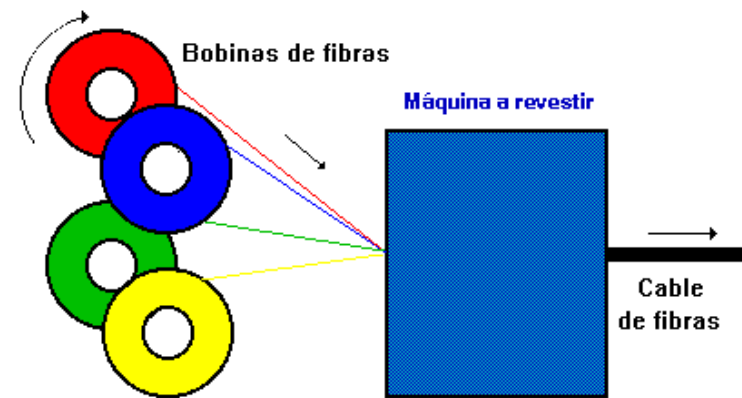
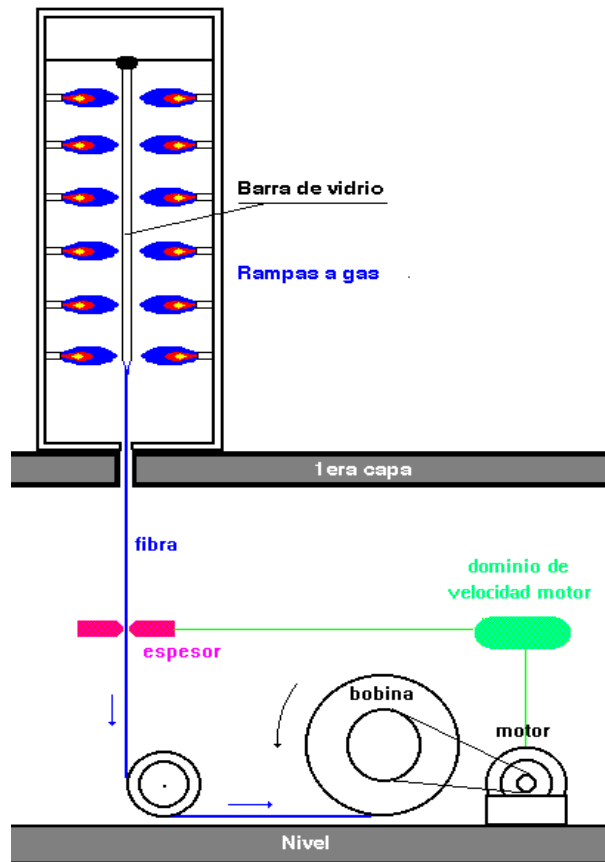
**CICLO DE FABRICACION DE BOTELLA EN EL PROCESO PRESNA - SOPLO BOCA ANGOSTA
ENFRIAMIENTO AXIAL
FIGURA No. VII-6**

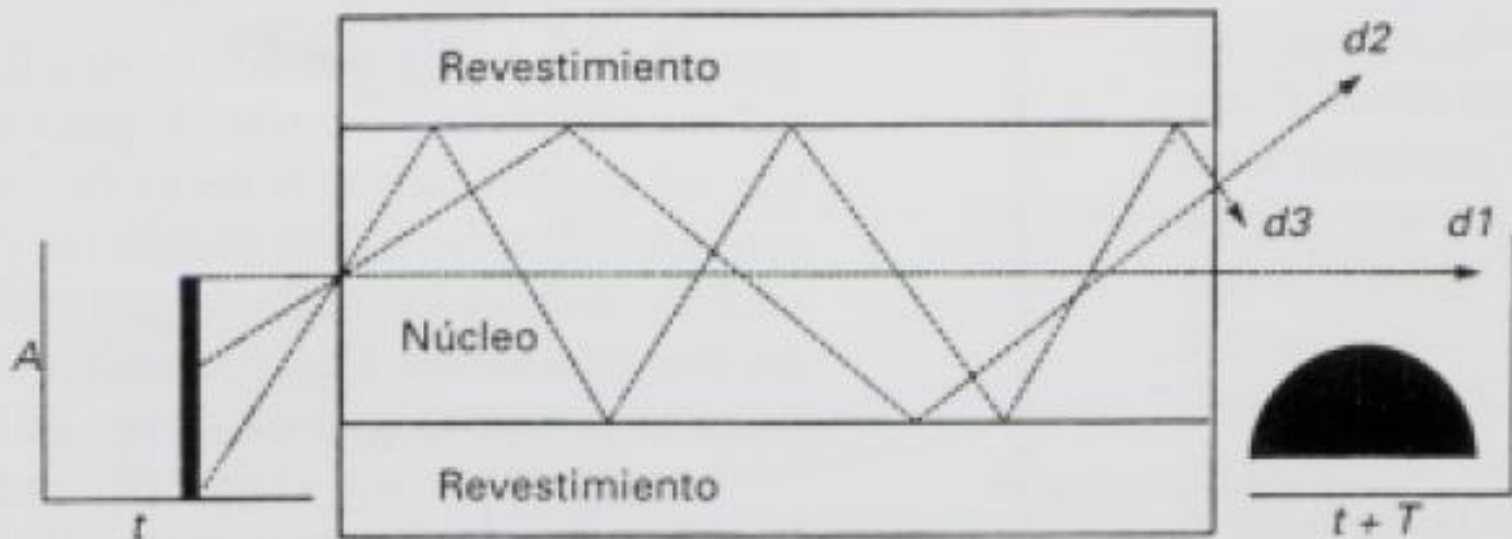


Color de los vidrios

Rojo	Óxido de cobre, oro, selenio, manganeso, óxido ferroso
Rosa	Menos cantidad que los anteriores o neodimio
Naranja	Rojo más cadmio
Amarillo	Plomo, óxido de antimonio, cadmio, hierro más manganeso, óxido de uranio y uronato de sodio y titanio
Verde	Óxido de cromo, hierro, compuestos de uranio, cobre, cobre más cromo, óxido de cobalto y antimonio
Azul	Óxido de cobalto, cobre, óxido de cobalto más óxido de manganeso
Violeta y púrpura	Óxidos de manganeso más óxido de níquel
Marrones	Azufre con carbono, níquel, compuestos de hierro, hierro más manganeso, uranio
Ahumados	Platino, iridio
Negros opacos	Óxido de zinc y óxido de manganeso
Blancos opacos	Óxido de zinc, óxido de calcio, fosfato cálcico, fluoruro cálcico.

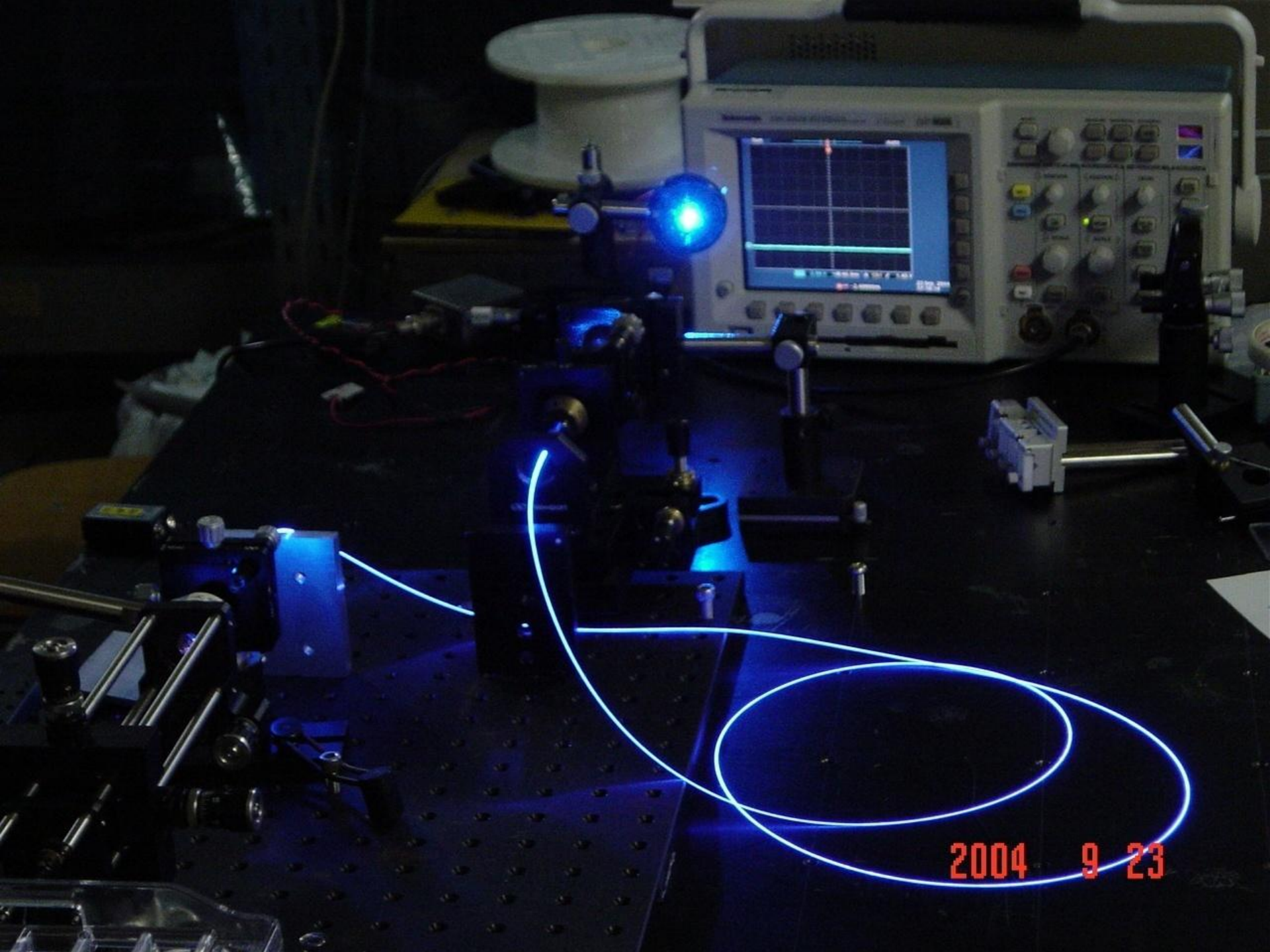
SiO₂ (fibra óptica)





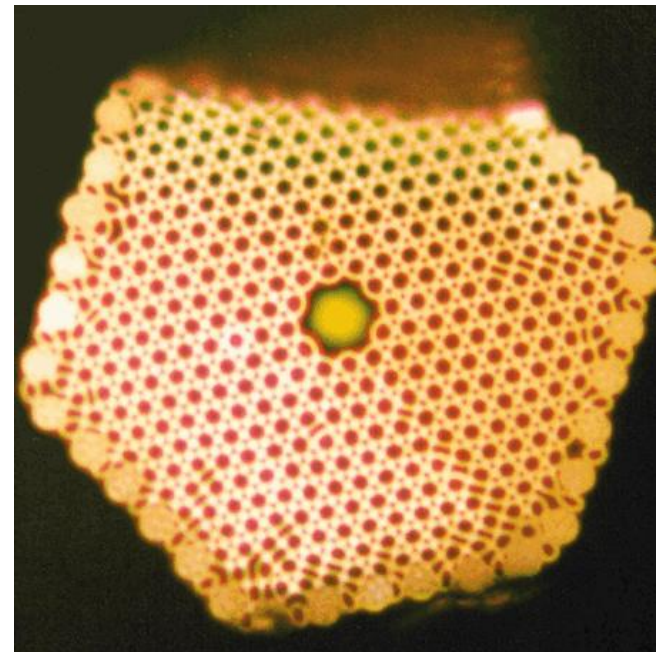
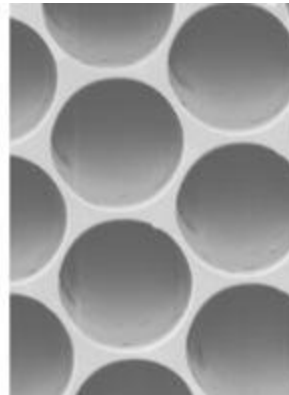
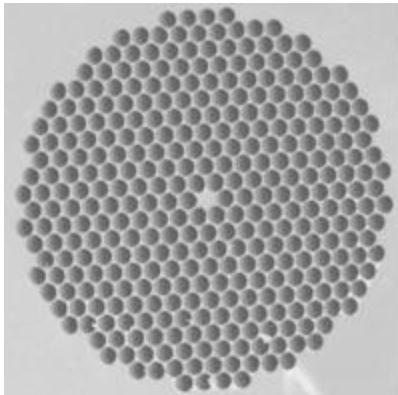
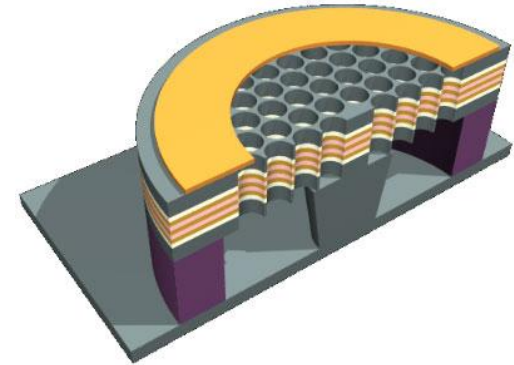
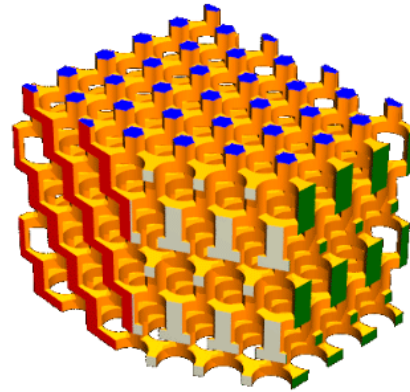
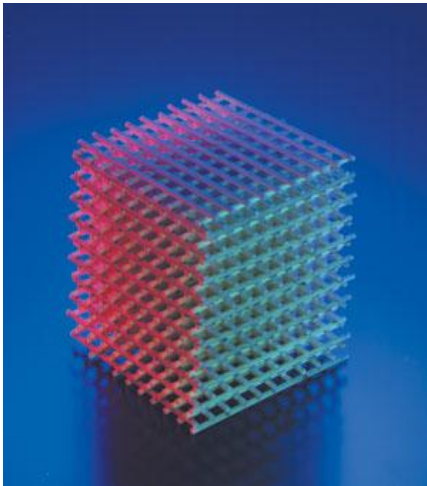
Fibra óptica de índice escalón

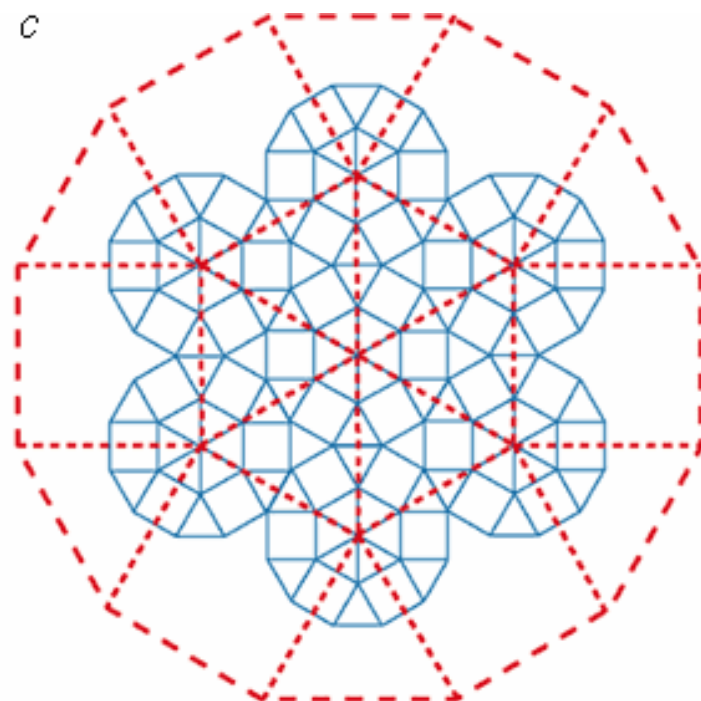
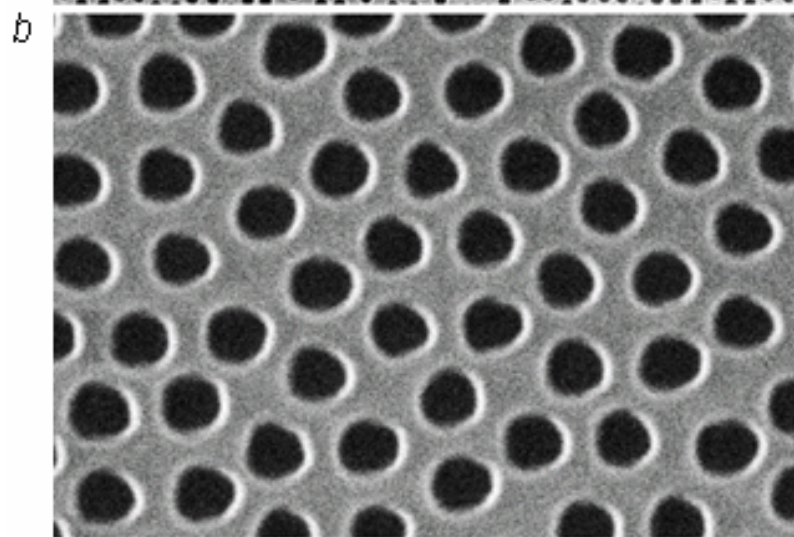
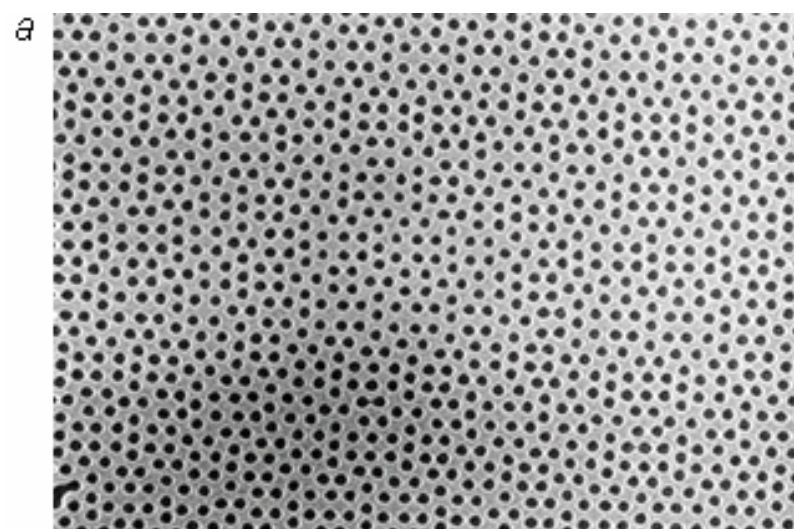
Ensanchamiento del pulso en un tiempo T



2004 9 23

IMAGENES DE CRISTALES FOTONICOS



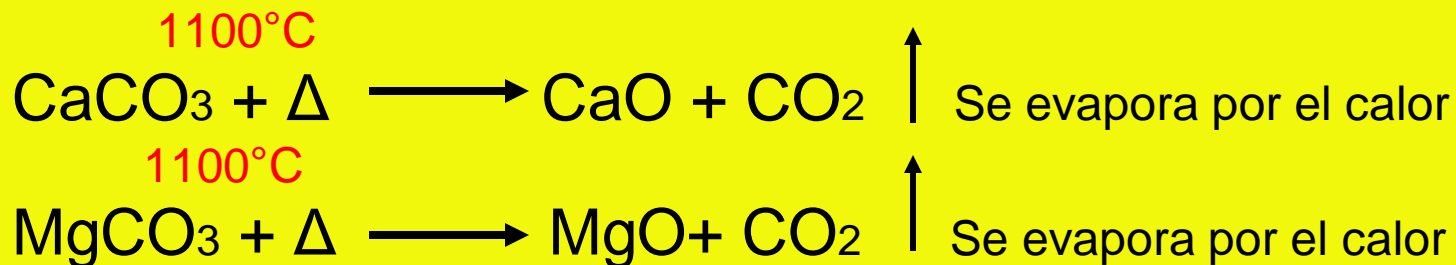


Materiales hidráulicos

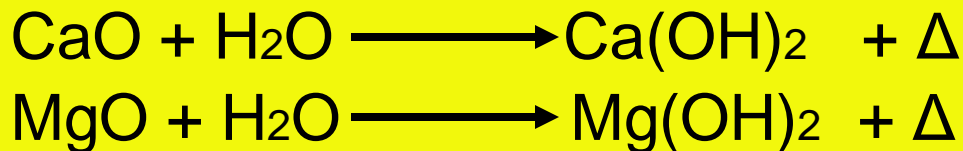
- Cal: **CaCO_3 y MgCO_3**
- Yeso: **$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$**
- Cemento: **$3 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$**
 $2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$
 $3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
 $4 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$

Carbonatos (cal)

- **Calcinado:**

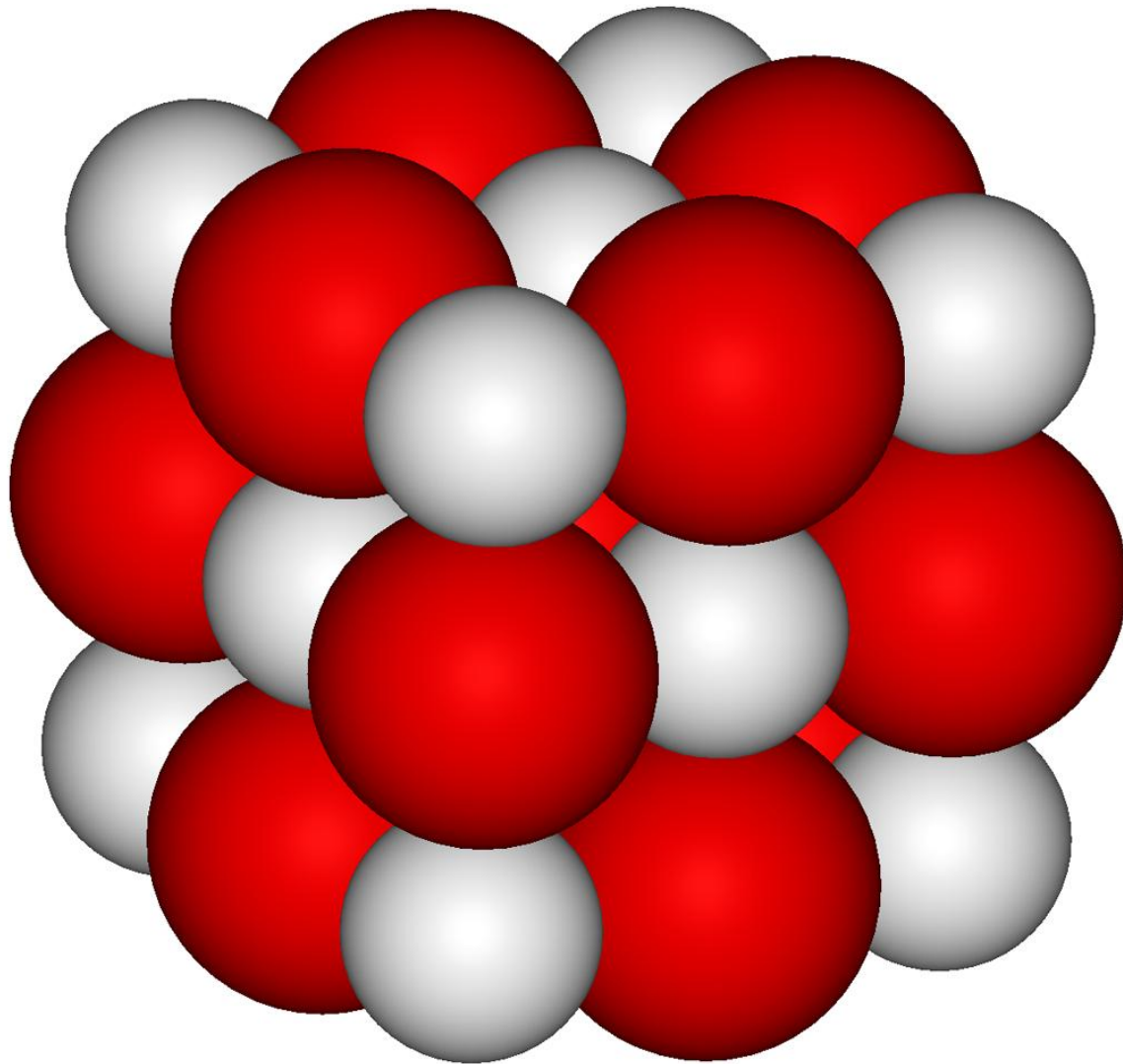


- **Hidratado:**



- **Plástico:**



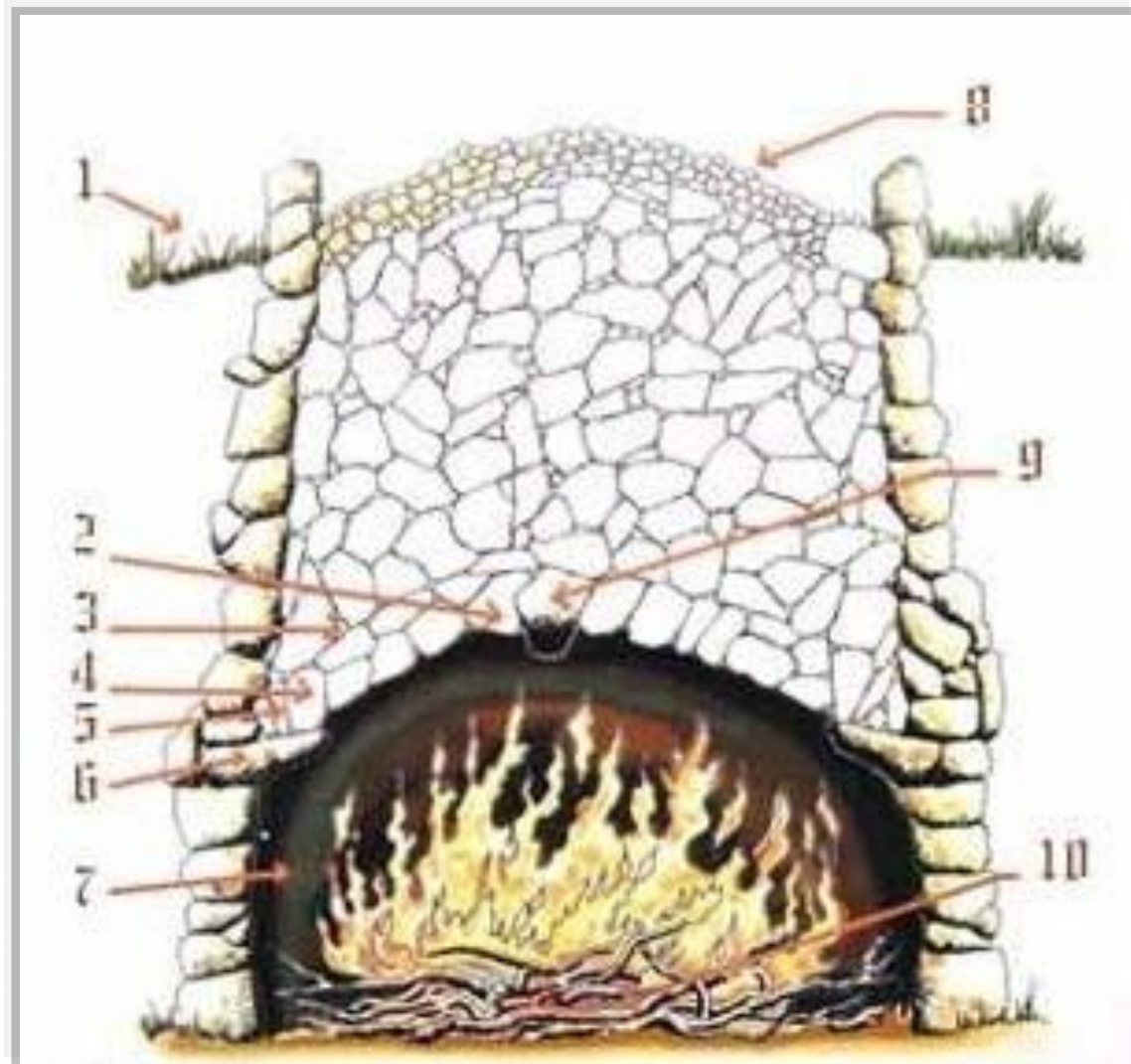


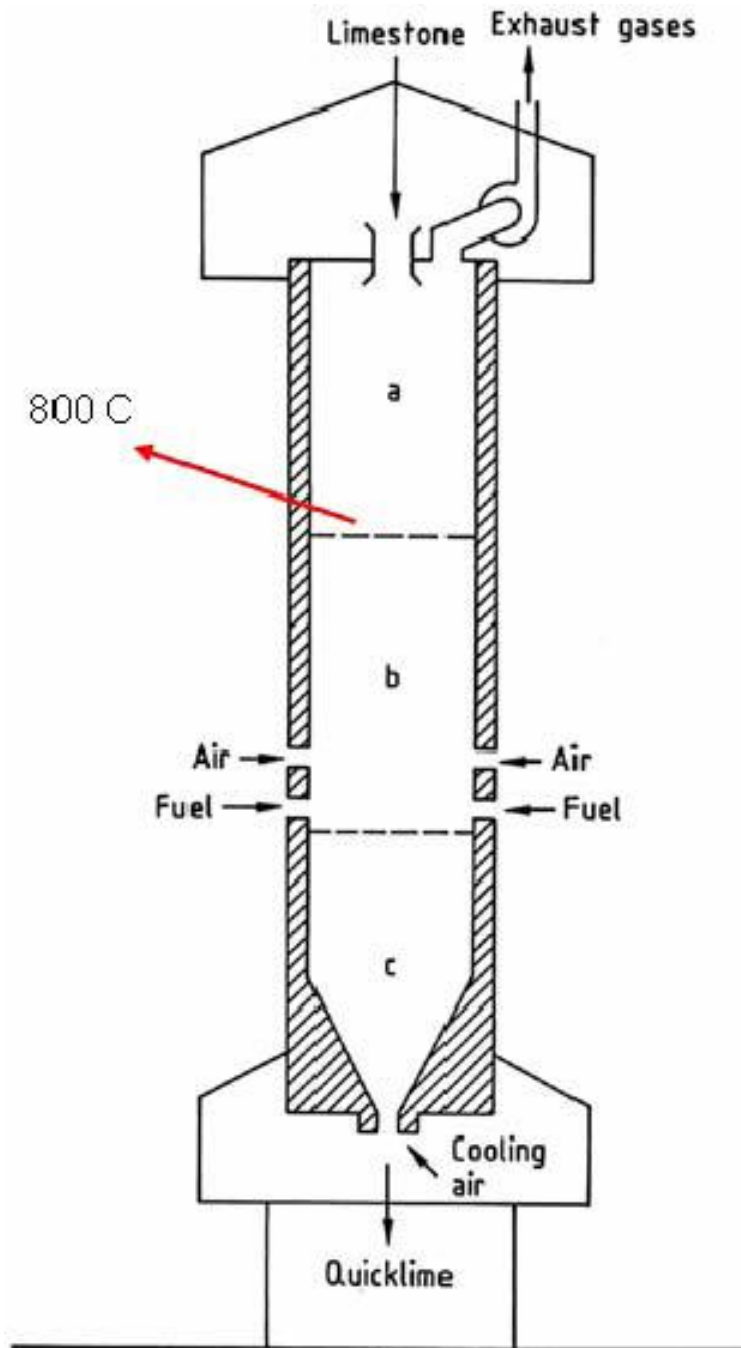
ETRUCTURA CRISTALINA DE LA CAL
CaCO₃+calor → CaO+CO₃

**Clasificación de calizas según el
contntenido de Carbonato de Calcio
(CaCO₃)**

Categoría	Porcentaje CaCO ₃
Muy alta pureza	> 98,5
Alta pureza	97,0 - 98,5
Media pureza	93,5 - 97,0
Baja pureza	85,0 - 93,5
Impura	< 85,0

- 1.- Nivel del Suelo
- 2.- Bóveda
- 3.- Trasquiles
- 4.- Encañaderas
- 5.- Calzos
- 6.- Repisa o aparador
- 7.- Caldera
- 8.- Reblo: Montón de piedras pequeñas, cuyo fin era guardar el calor.
- 9.- Cuño: Era la piedra que cerraba la bóveda. La piedra "clave".
- 10.- Cepas de Brezo: Jara.

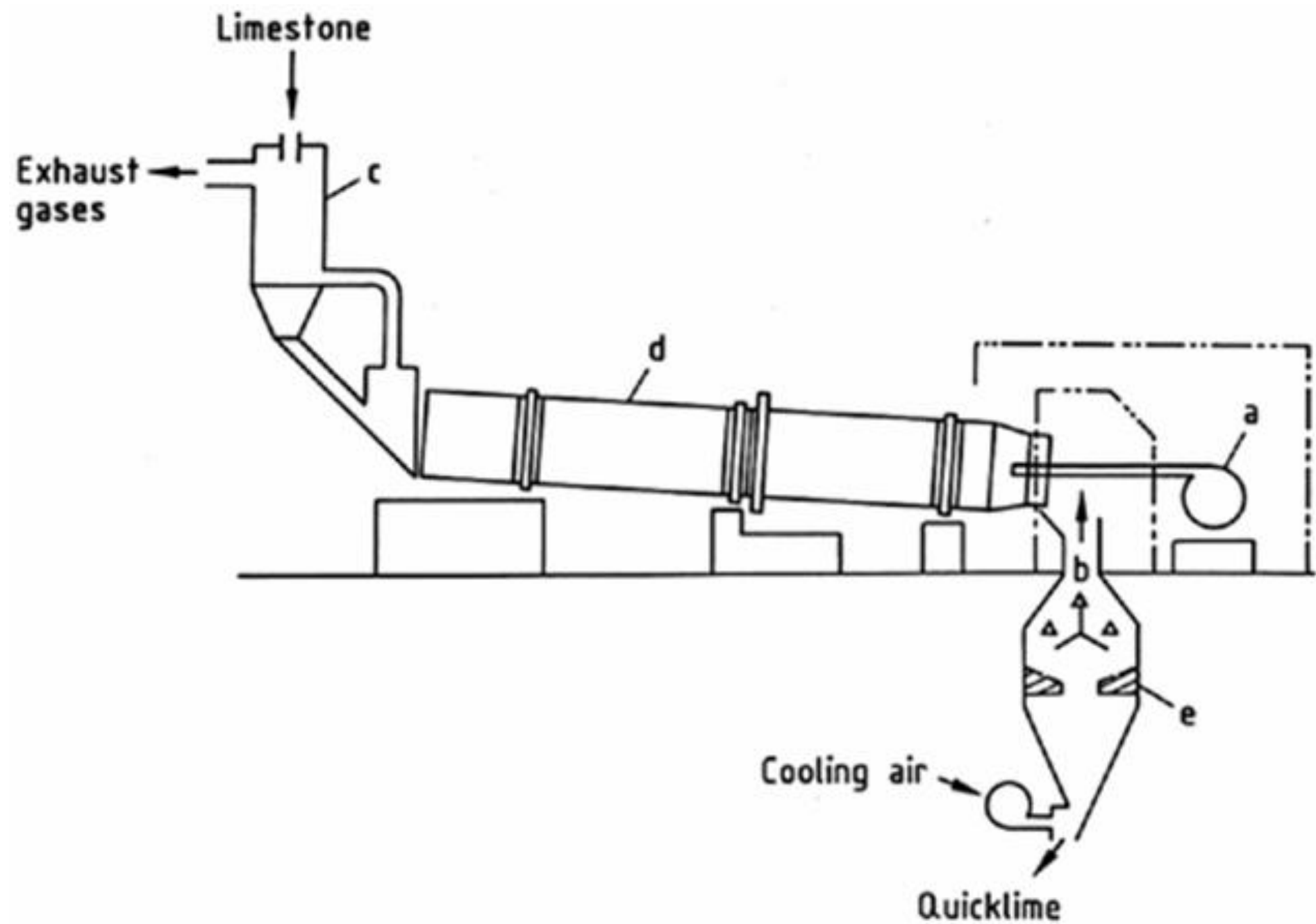




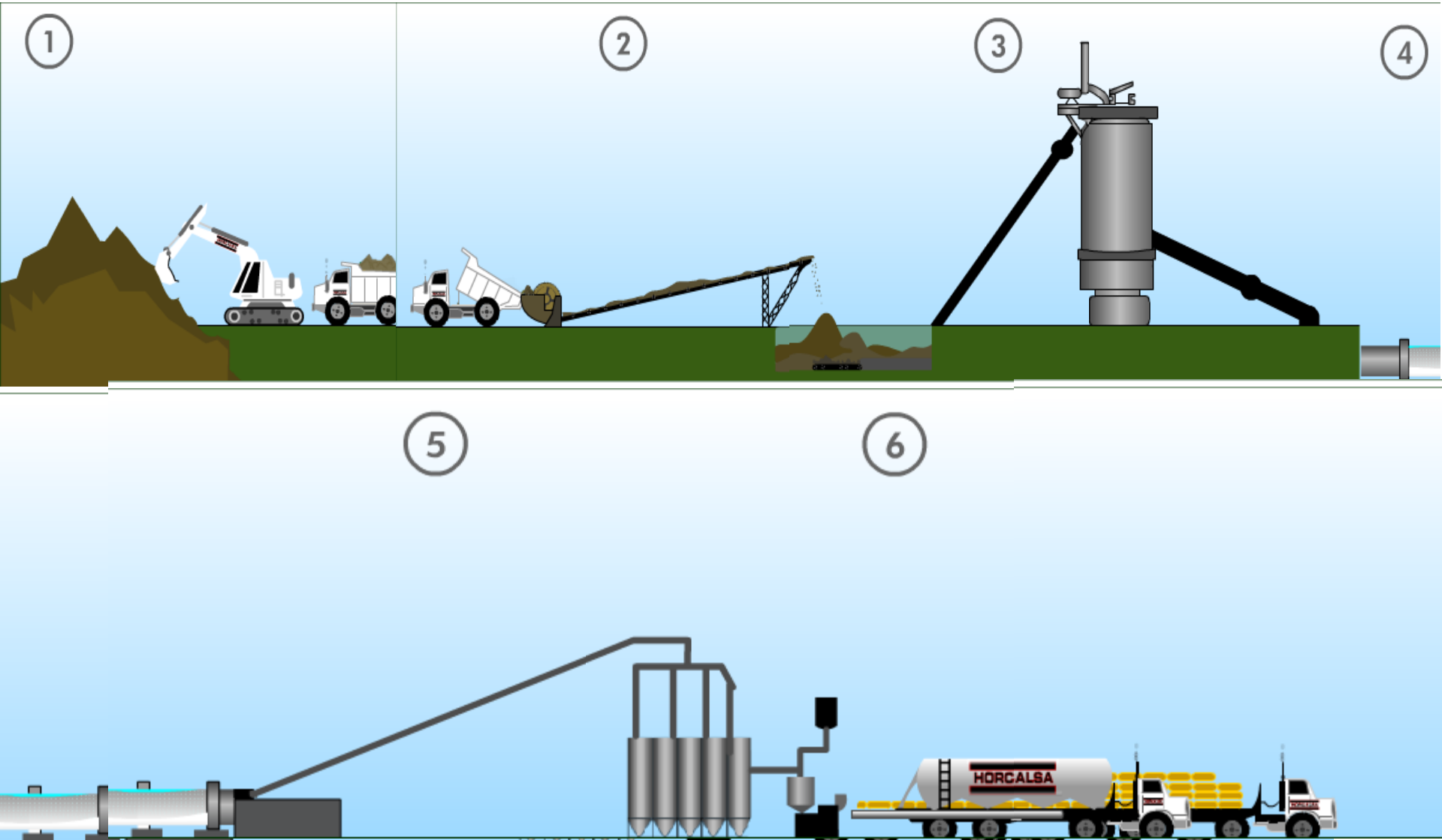
Esquema de un horno de calcinación vertical (kiln).

- a) Zona de precalentamiento;**
- b) Zona de calcinación;**
- c) Zona de enfriamiento.**

Horno de mezclado vertical; 5 a 15 cm y una relación de tamaño de 2 : 1; el calor neto usado puede ser bastante bajo 4000 kJ/kg (950 kcal/kg).



Flujograma del proceso de elaboración de la cal



Yeso

- Yeso:

calcinado:

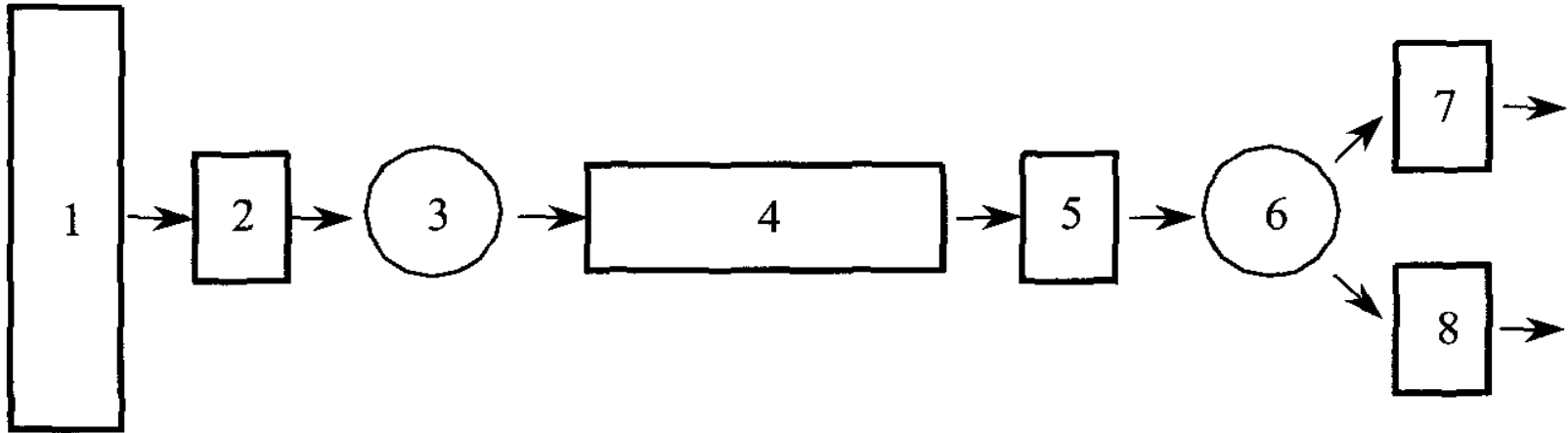
120⁰C



Plasticidad:



PROCESO PRODUCTIVO DEL YESO



- 1.- Canteras.
- 2.- Trituración de la materia prima.
- 3.- Almacenado en silos de la materia prima.
- 4.- Horno de cocción.
- 5.- Molienda del yeso fabricado.
- 6.- Almacenado en silos del yeso fabricado.
- 7.- Zona de carga directa del yeso en camiones cisterna.
- 8.- Zona de ensacado automático del yeso.

Cemento

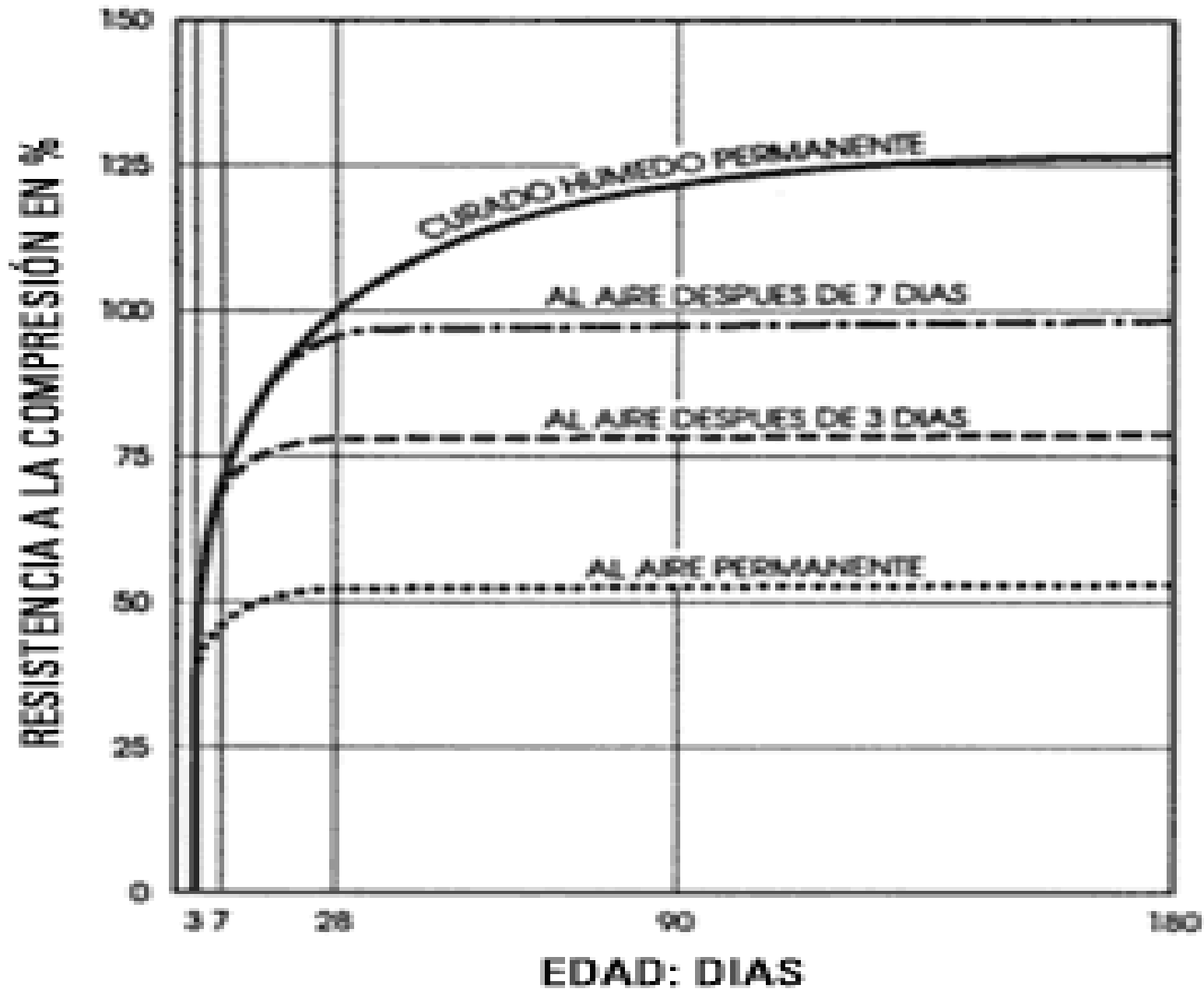
COMPONENTES PRINCIPALES

Nombre	Composición	Fórmula abreviada	Nombre del mineral
-Silicato tricálcico	3 CaO. SiO₂	C₃S	Alita
-Silicato bicálcico	2 CaO. SiO₂	C₂S	Belita
-Aluminato tricálcico	3 CaO. Al₂O₃	C₃A	Celita
-Ferrito aluminato tetracálcico	4 CaO. Al₂O₃. Fe₂O₃	C₄AF	

La composición química de óxidos de los cementos portland, en general, es la siguiente:

<u>OXIDOS</u>	<u>FORMULAS</u>	<u>PORCENTAJES</u>
	(%)	
Oxido de calcio combinado	CaO	60-67
Sílice	SiO ₂	17-25
Oxido de aluminio	Al ₂ O ₃	3.8
Oxido de hierro	Fe ₂ O ₃	0.5-0.6
Oxido de azufre (VI)	SO ₃	1.0 – 3.0
Oxido de magnesio	MgO	0.5 – 5.5
Alcalinos	Na ₂ O + K ₂ O	0.5 – 1.3

Influencia del Curado Húmedo en la Resistencia.



1. Cal hidráulica
2. Cemento portland
3. Escorias de Alto Horno
4. Puzolanas
5. Cemento aluminoso

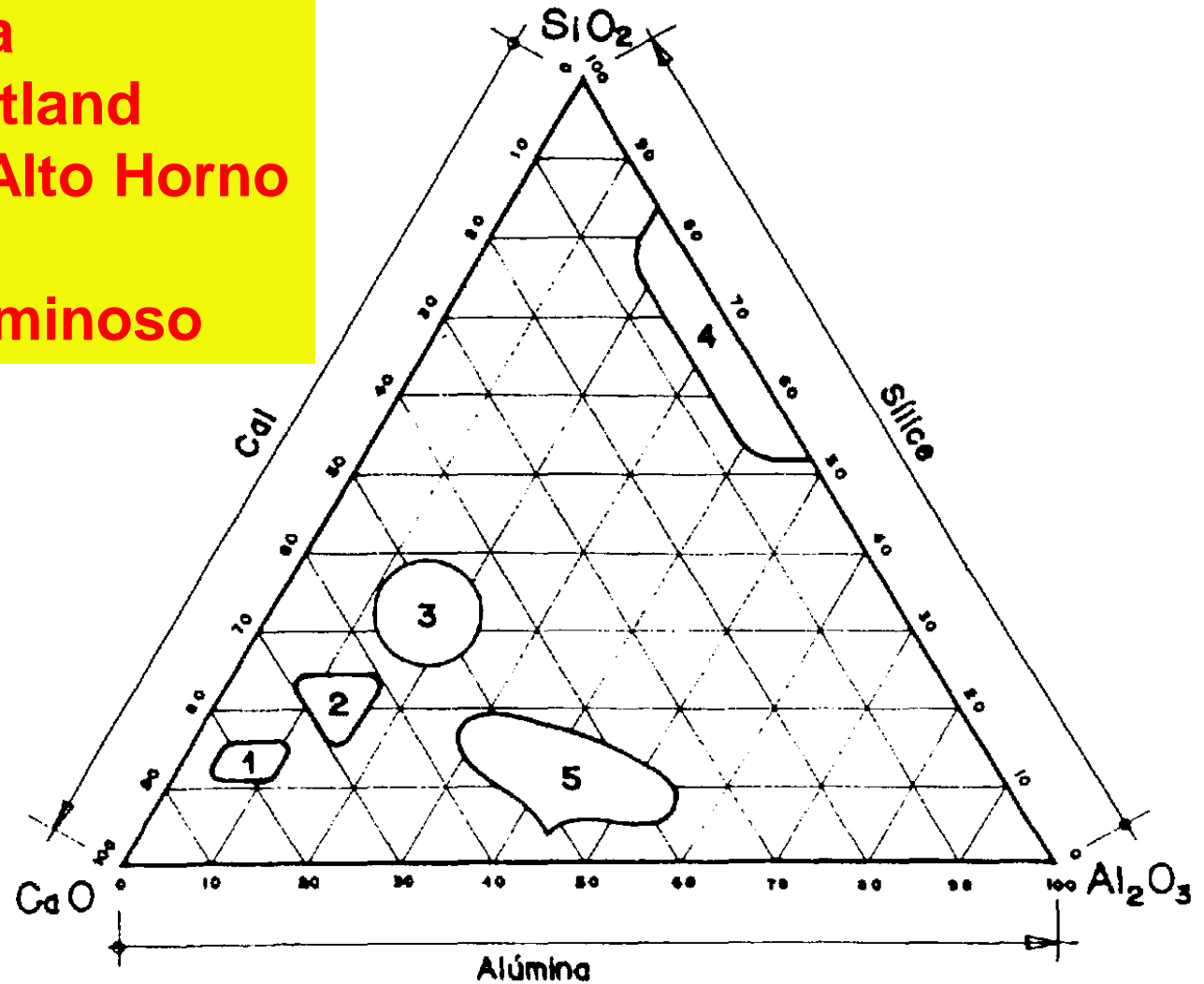
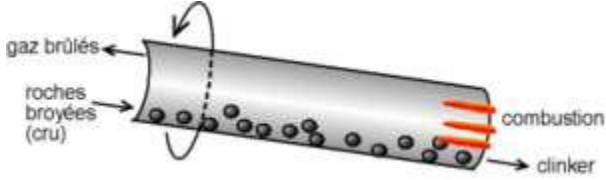
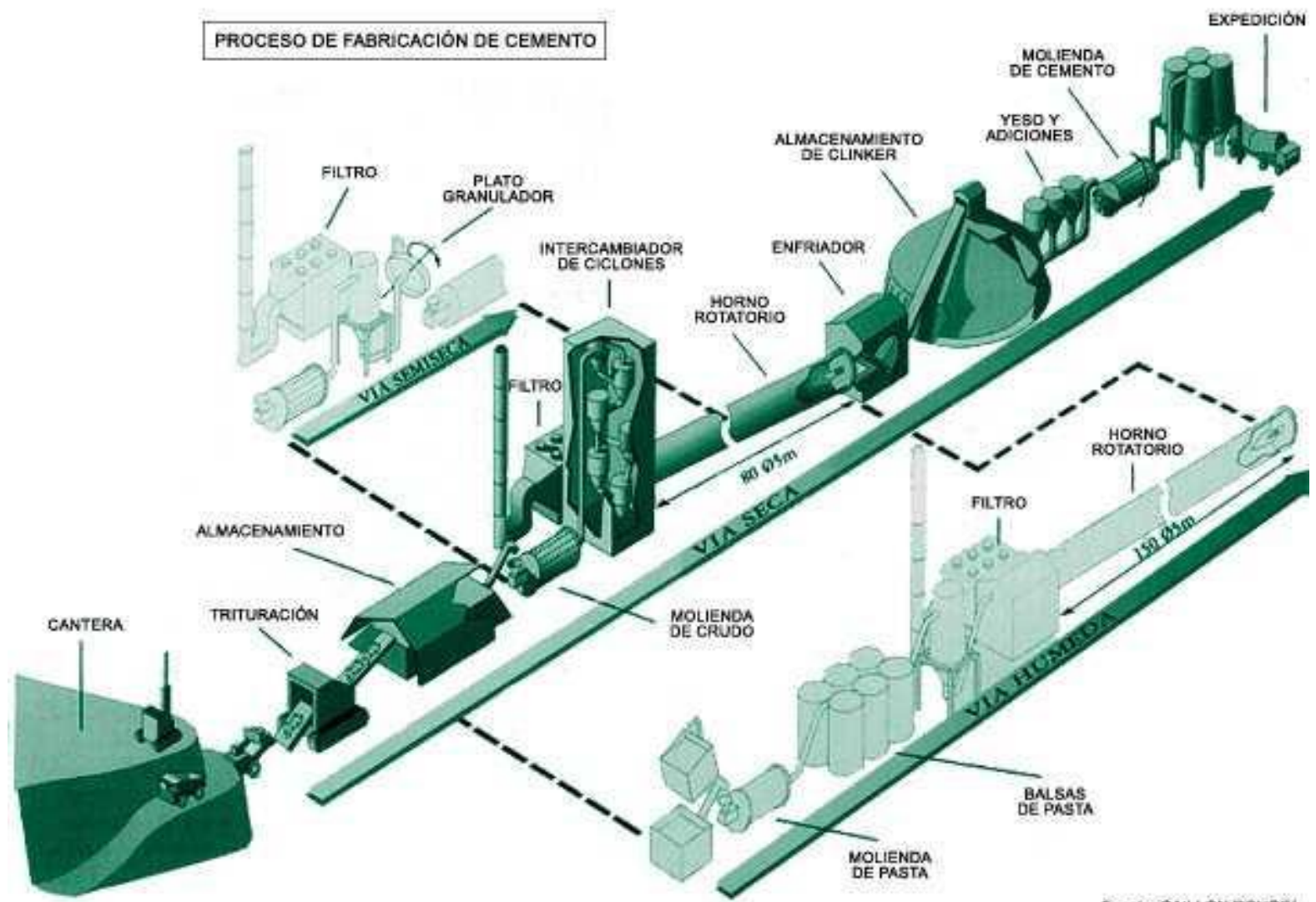


Diagrama de Rankin

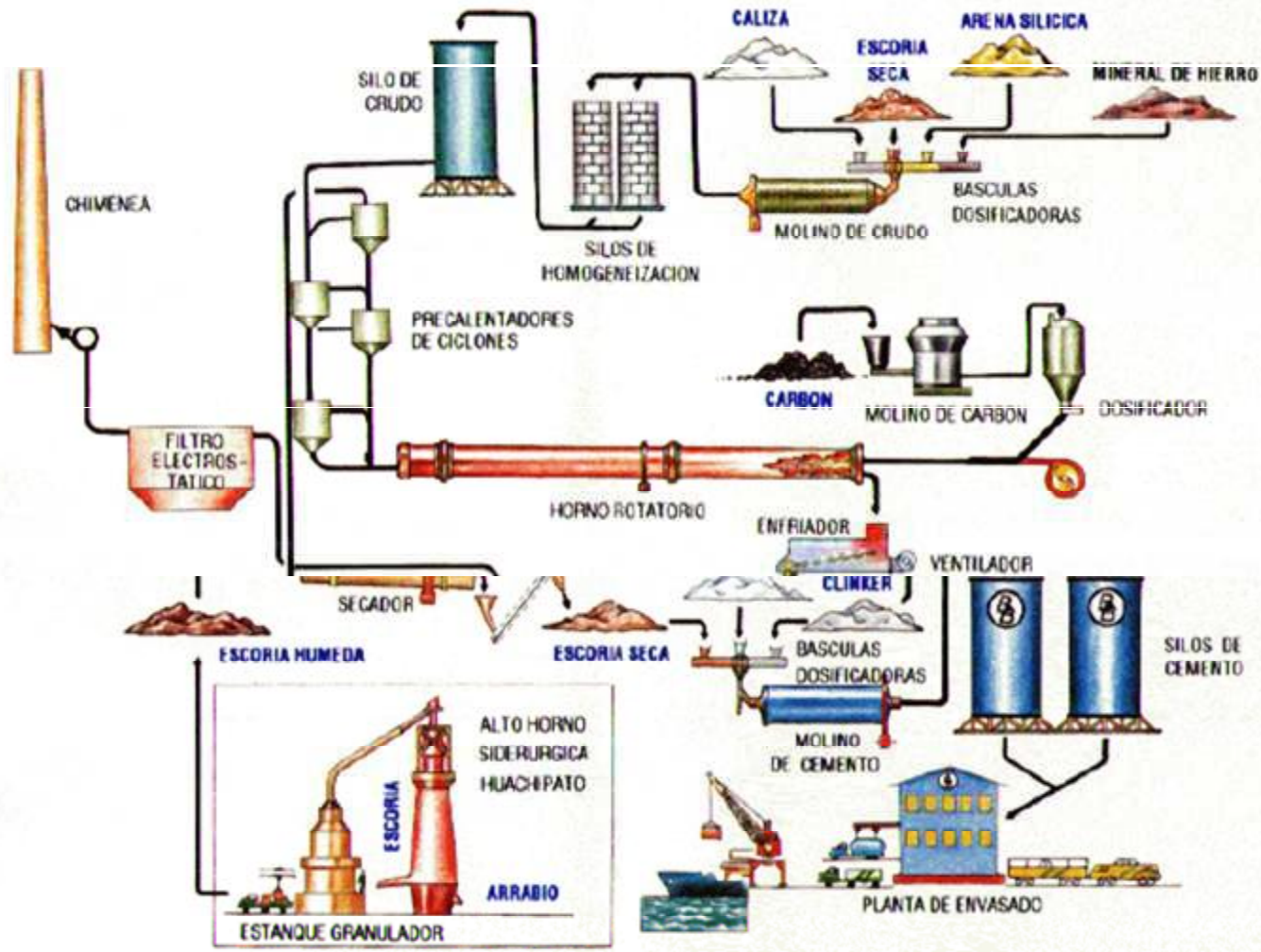


Flujograma del cemento

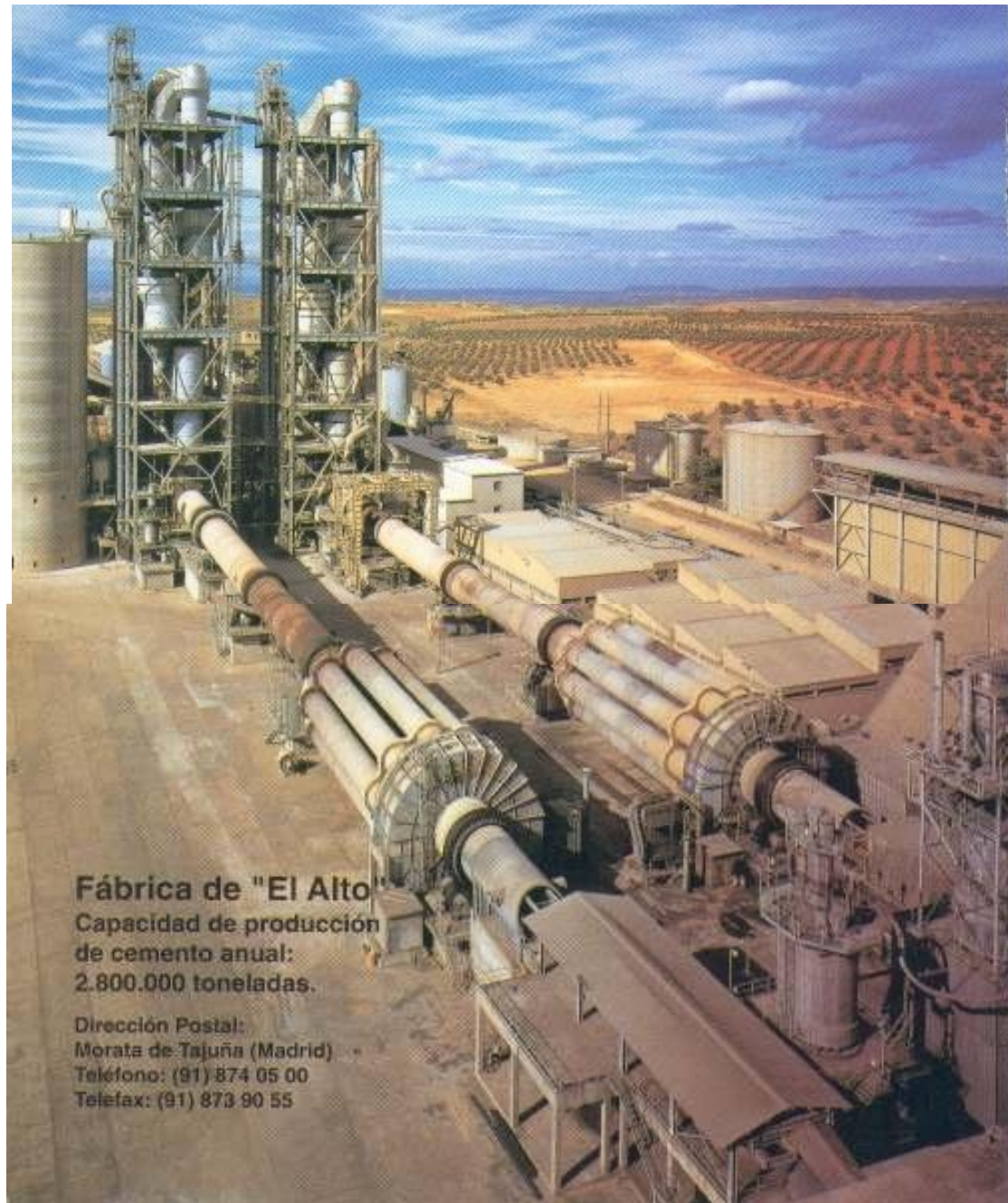
PROCESO DE FABRICACIÓN DE CEMENTO



Fuente: CAILLON ROUGE/ ROGER RIVET

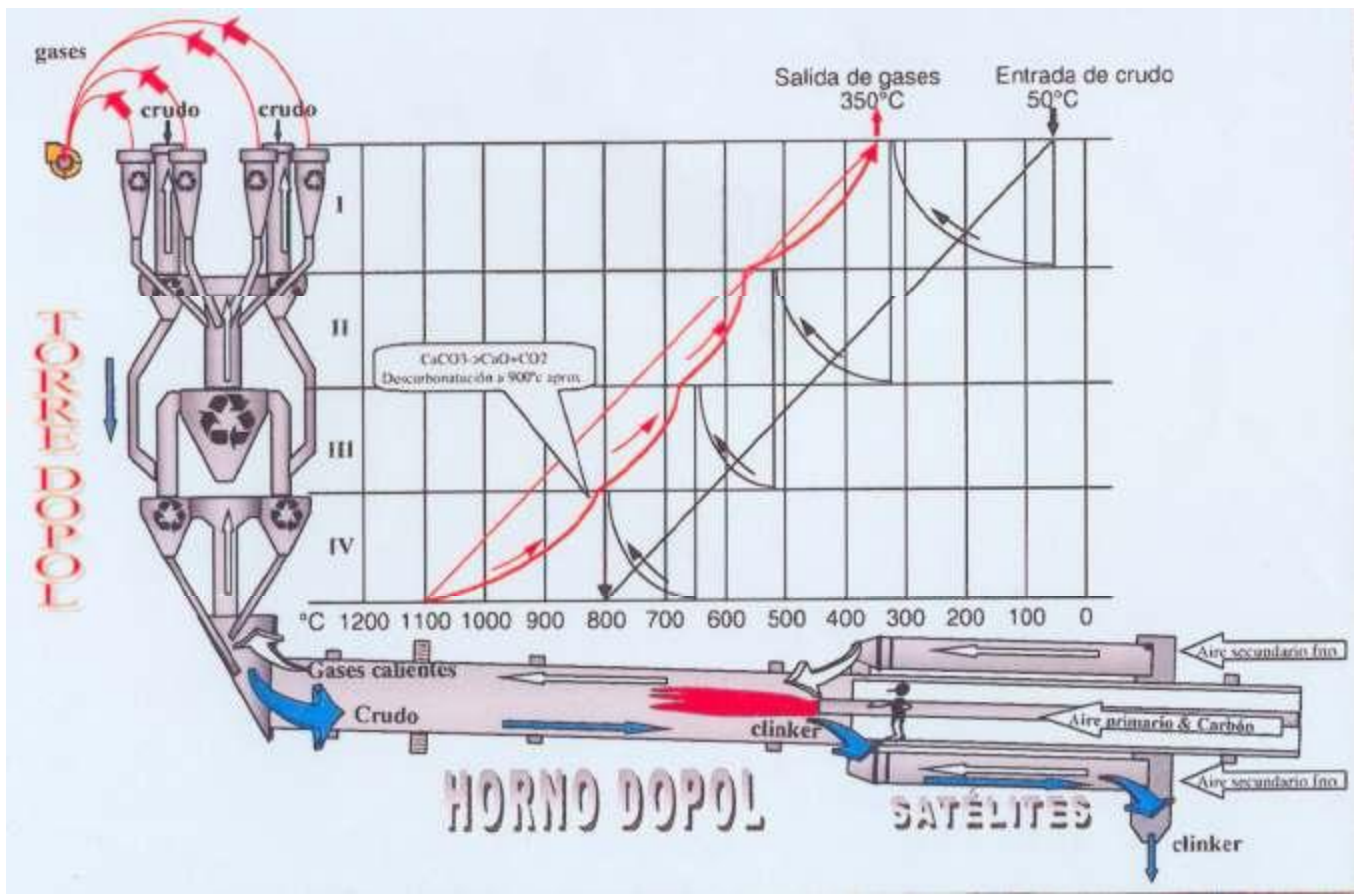


Proceso de fabricación del cemento.

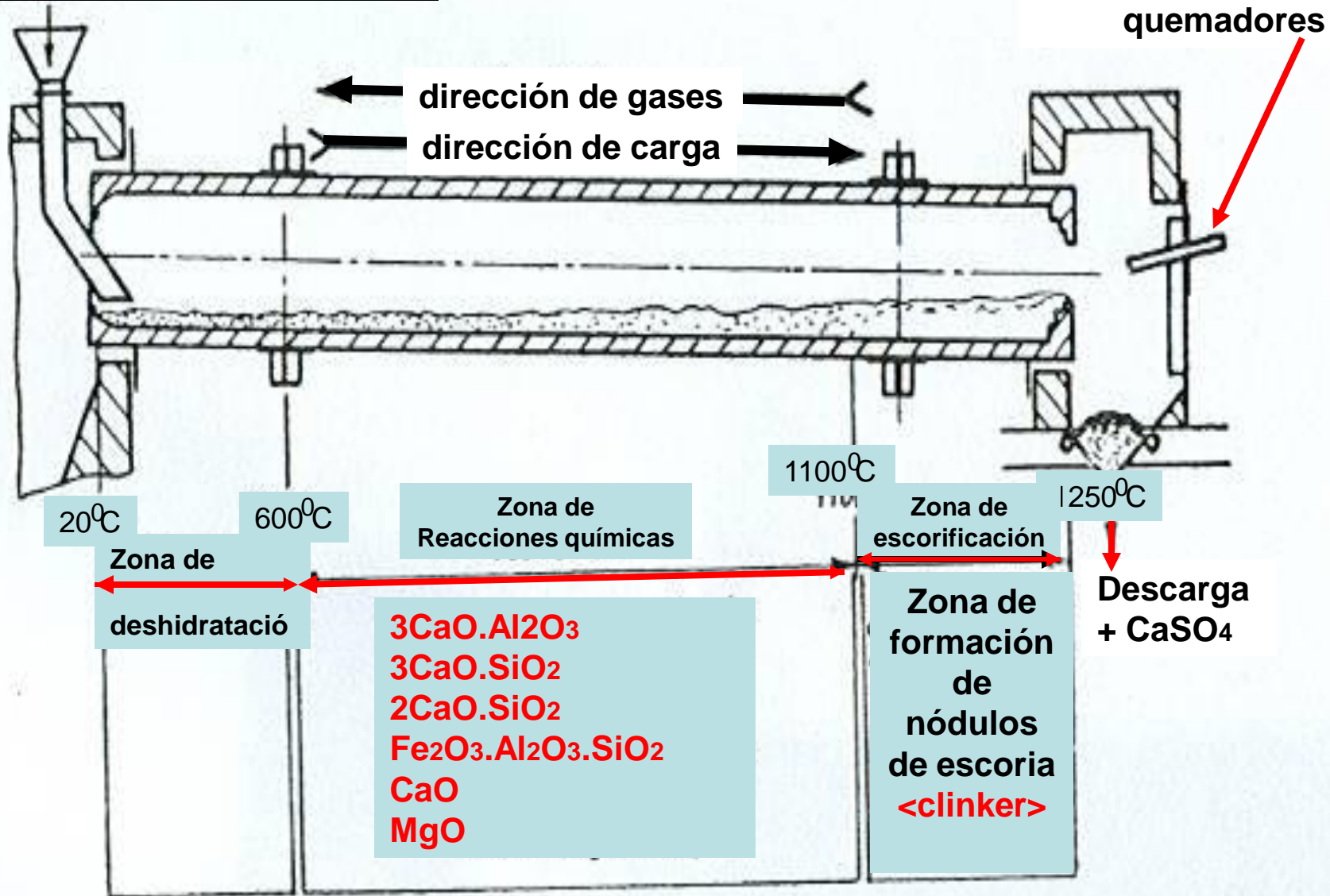


Fábrica de "El Alto"
Capacidad de producción
de cemento anual:
2.800.000 toneladas.

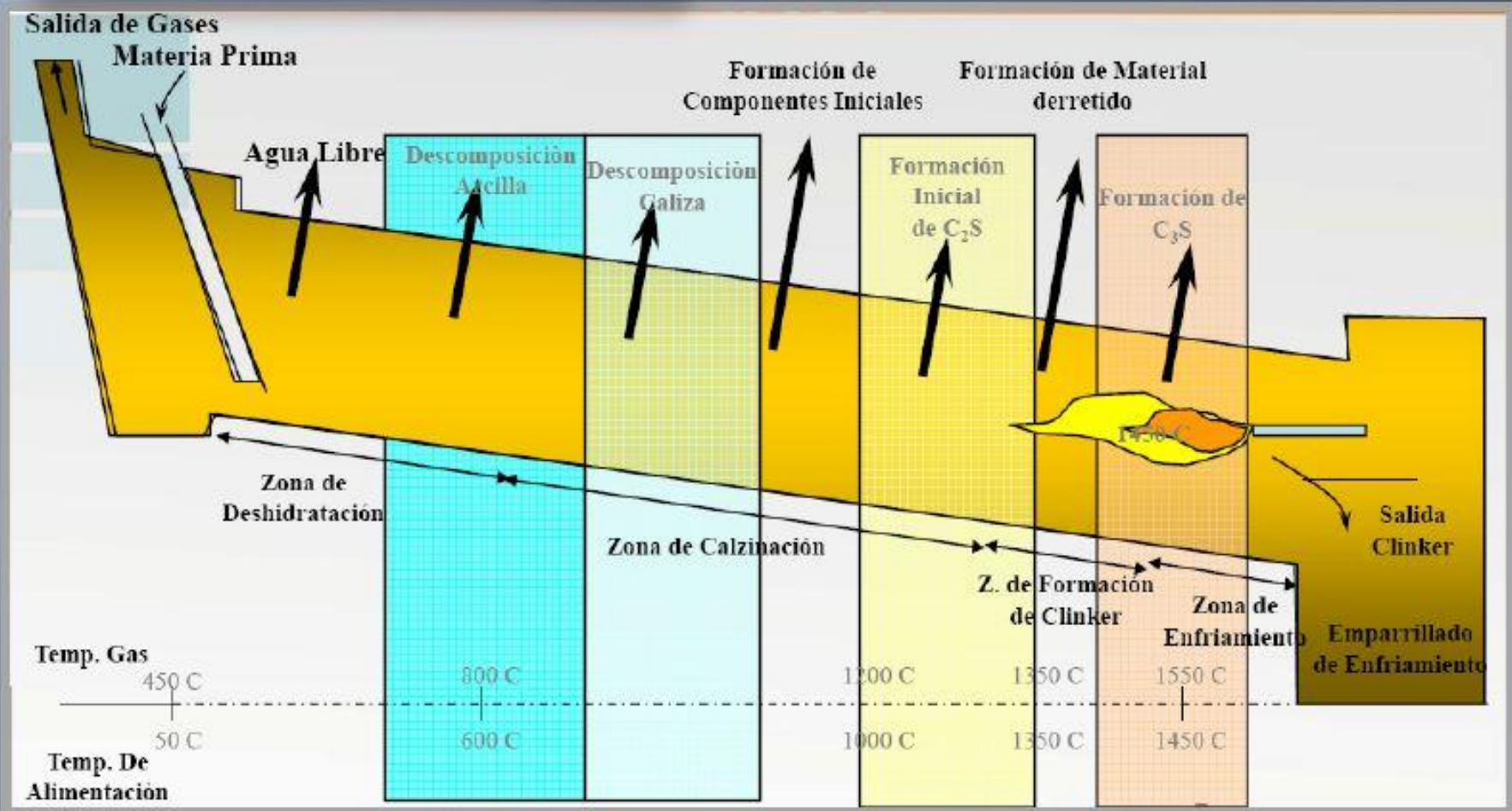
Dirección Postal:
Morata de Tajuña (Madrid)
Teléfono: (91) 874 05 00
Telefax: (91) 873 90 55



Carga:

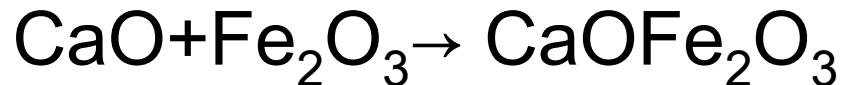
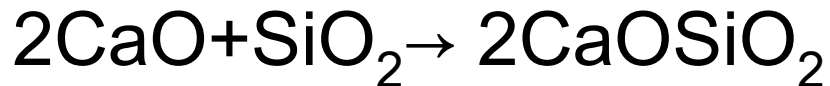
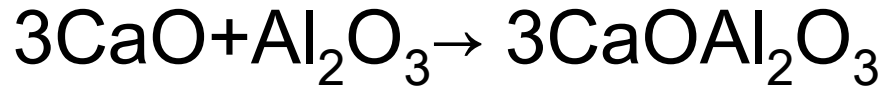


Reacciones en un horno rotatorio

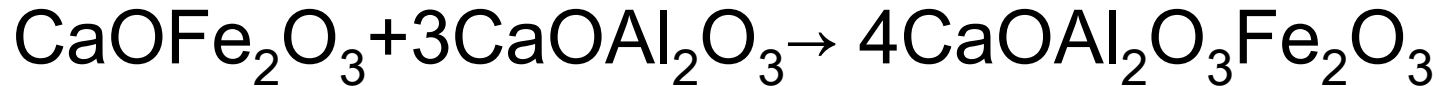


Reacciones de formación del clinker

1000–1100°C



1100–1200°C



1250 - 1480°C



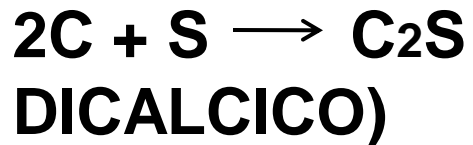
Nociones generales de la química del Cemento

Componentes fundamentales de la mezcla cruda

- 1) Oxido de calcio: CaO , cal, calcio. Se representa con C”.**
- 2) Oxido de silicio: SiO_2 , sílica, silice. Se representa con S”.**
- 3) Oxido de aluminio : Al_2O_3 , alúmina. Se representa con A”.**
- 4) Oxido de hierro: Fe_2O_3 . .Se representa con “F”.**

Esta conjunto de reacciones en fase semisólida se denominan reacciones de sinterización o clinkerización.

Las mismas son:



BELITA (SILICATO



ALITA (SILICATO



FERROALUMINATOTETRACALCICO



ALUMINATO TRICALCICO

Clinker o escoria de cemento

<i>Compuesto</i>	<i>Fórmula química</i>	<i>Abreviatura</i>
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Aluminoferrito tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

TABLA 11.5. Composiciones de diferentes tipos de cemento Portland

<i>Tipo de cemento</i>	<i>Designación ASTM C150</i>	<i>Composiciones (% peso)*</i>			
		C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
Ordinario	I**	55	20	12	9
Moderado calor de hidratación, moderada resistencia al sulfato	II	45	30	7	12
Endurecimiento rápido	III	65	10	12	8
Bajo calor de hidratación	IV	25	50	5	13
Resistente al sulfato	V	40	35	3	14

* Los porcentaje hasta 100 corresponden a yeso y otros componentes como MgO, sulfatos alcalinos, etc.

**Este es el más común de todos tipos.

Fuente: J. F. Young, *J. Educ. Module Mater. Sci.*, 3:410 (1981). Usado con permiso del *Journal of Materials Education*, University Park, Pa, USA.

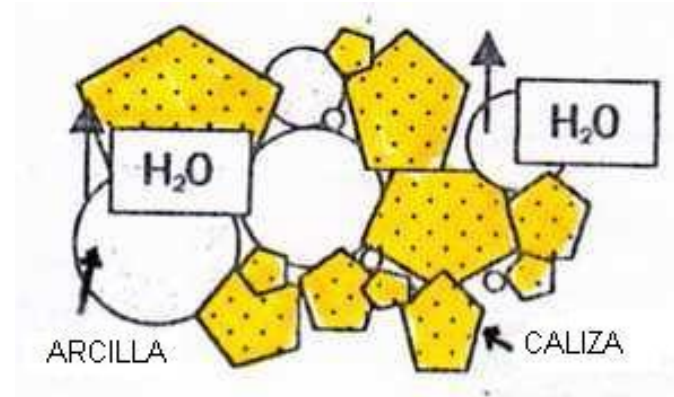
Descripción del proceso

A medida que el material avanza en el sistema del horno, a contracorriente de una mezcla de gases calientes, va aumentando su temperatura, teniendo el proceso de transformación global varias etapas.

1- A 700 °C :

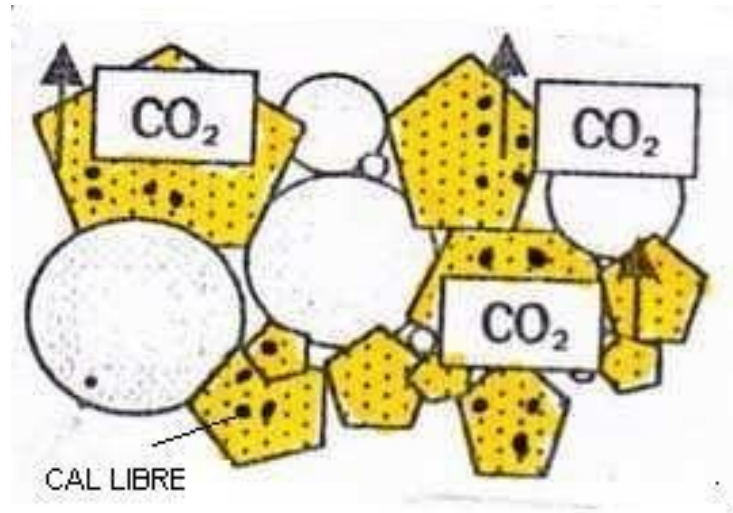
A temperaturas del orden de los 700 grados, se libera el agua presente en la estructura cristalina de las calizas y arcillas.

Comienza la descomposición del carbonato de calcio en óxido de calcio (Cal libre) y anhídrido carbónico (calcinación).



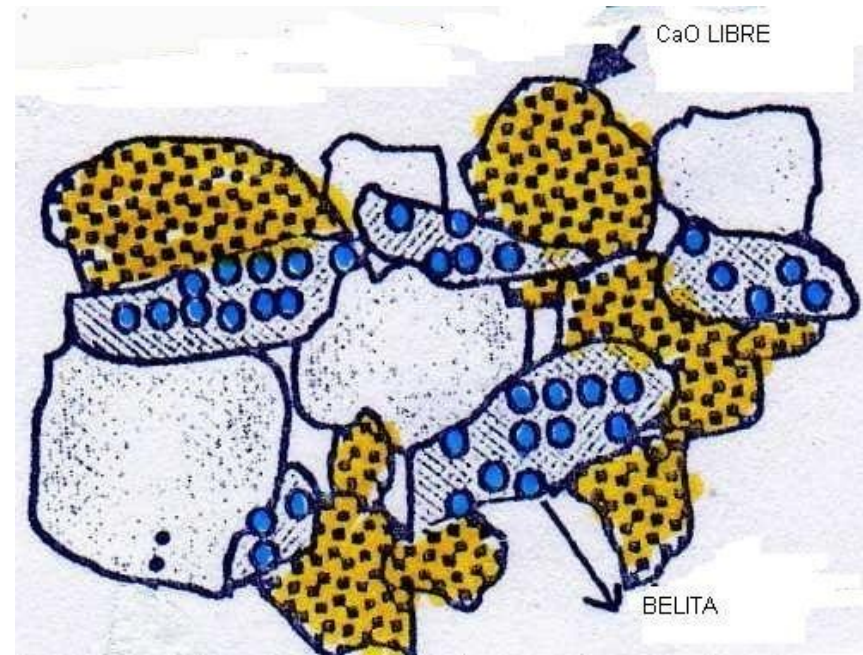
2- Entre 700 y 900 °C :
Continúa el proceso de calcinación,
aumentando la presencia de cal
libre.

Mientras esto ocurre, la temperatura se
mantiene alrededor de los 850
grados.



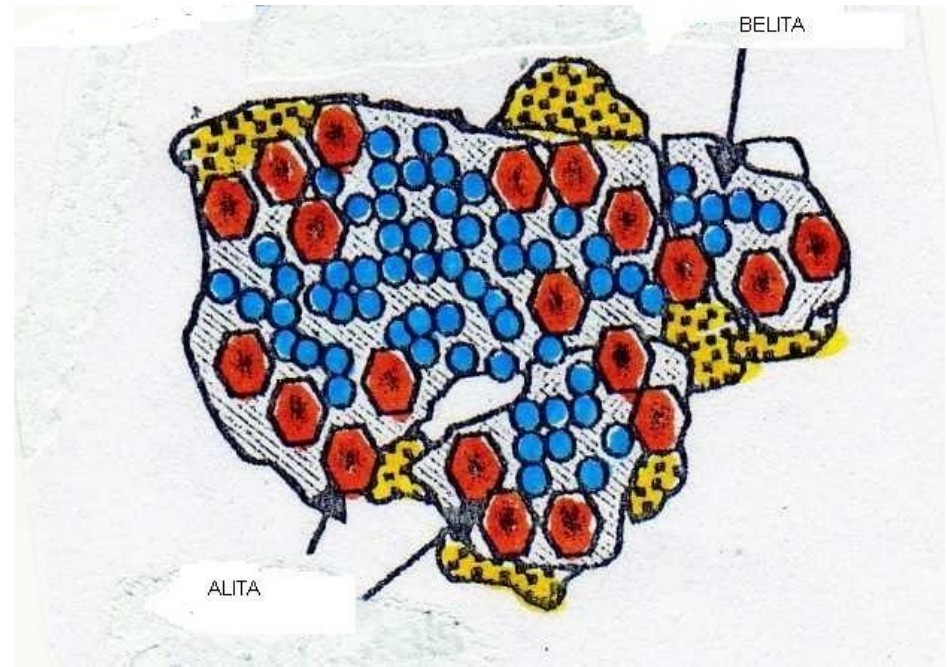
Comienza la formación de aluminatos y
ferritos.

3-Entre 900 y 1,200 °C : Entre 900 y 1,150 °C, la sílice reactiva comienza a combinarse con la cal libre para comenzar las etapas de formación de C₂S. Entre 1,150 y 1,200 °C se ha completado la calcinación. Cuando esto ocurre la temperatura se incrementa rápidamente.



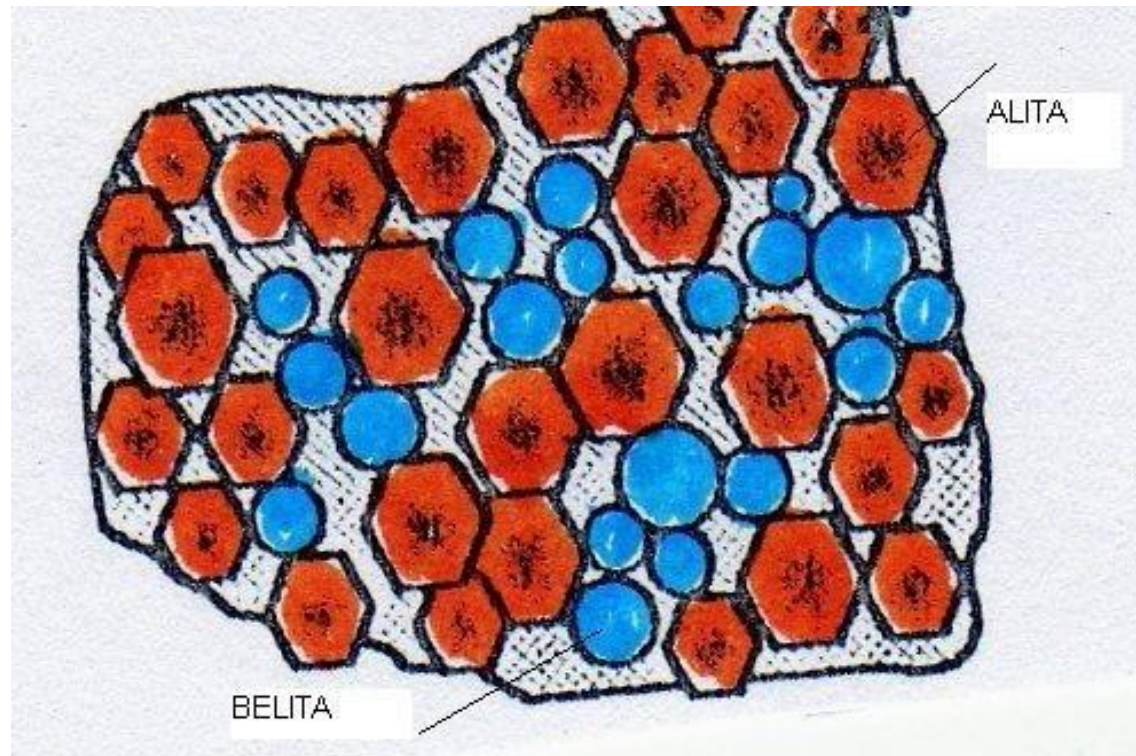
Se forman pequeños cristales de belita, a partir de la combinación de sílice con cal libre.

4-Entre 1,200 y 1,350°C: Por encima de 1,250 grados, se forma la fase líquida. Se produce la reacción de belita (C_2S) y cal libre para formar alita (C_3S).



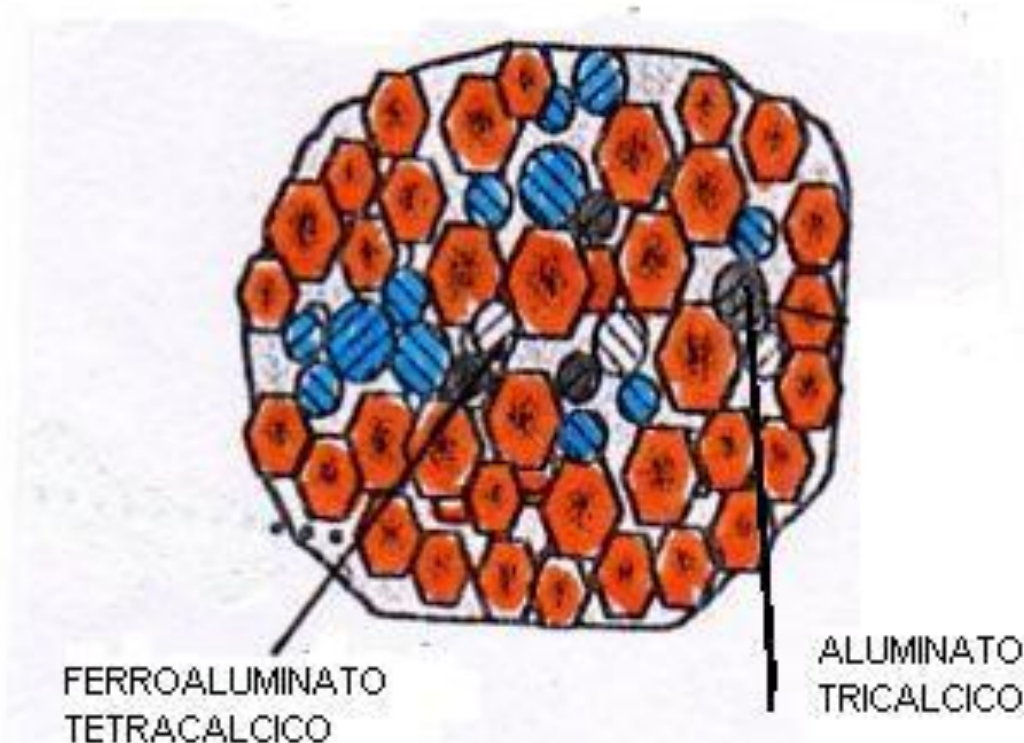
Cristales redondeados, color celeste: belita
Cristales angulosos, color rojo: alita

5-Entre 1,350 y 1,500°C: La cantidad de cristales de belita disminuyen, aumentando su tamaño. Los cristales de alita aumentan en número y tamaño.

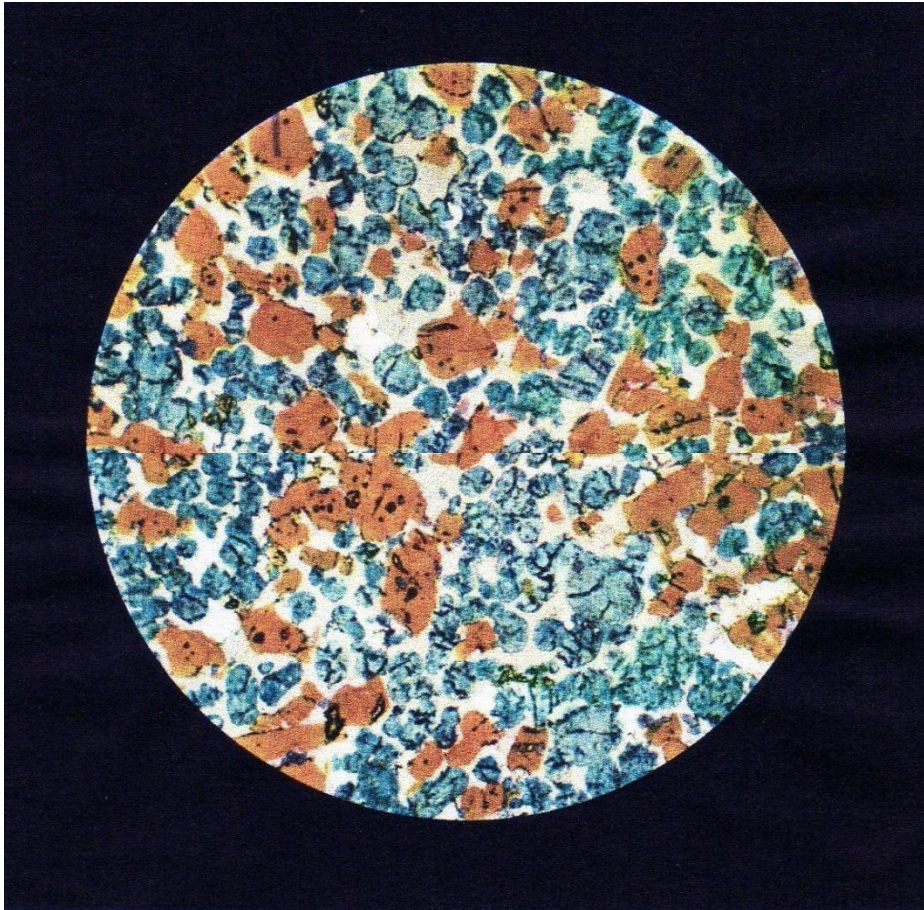


6-Enfriamiento:

Durante el enfriamiento, cristalizan el aluminato tricálcico y el ferroaluminato tetracálcico



Fotografía de clinker observado al microscopio:



Los cuatro minerales de clinker pueden identificarse por el color que adquieren debido a la técnica de decoloración utilizada.

*cristales marrones:

C₃S

*cristales azules:

C₂S

*cristales grises:

C₃A

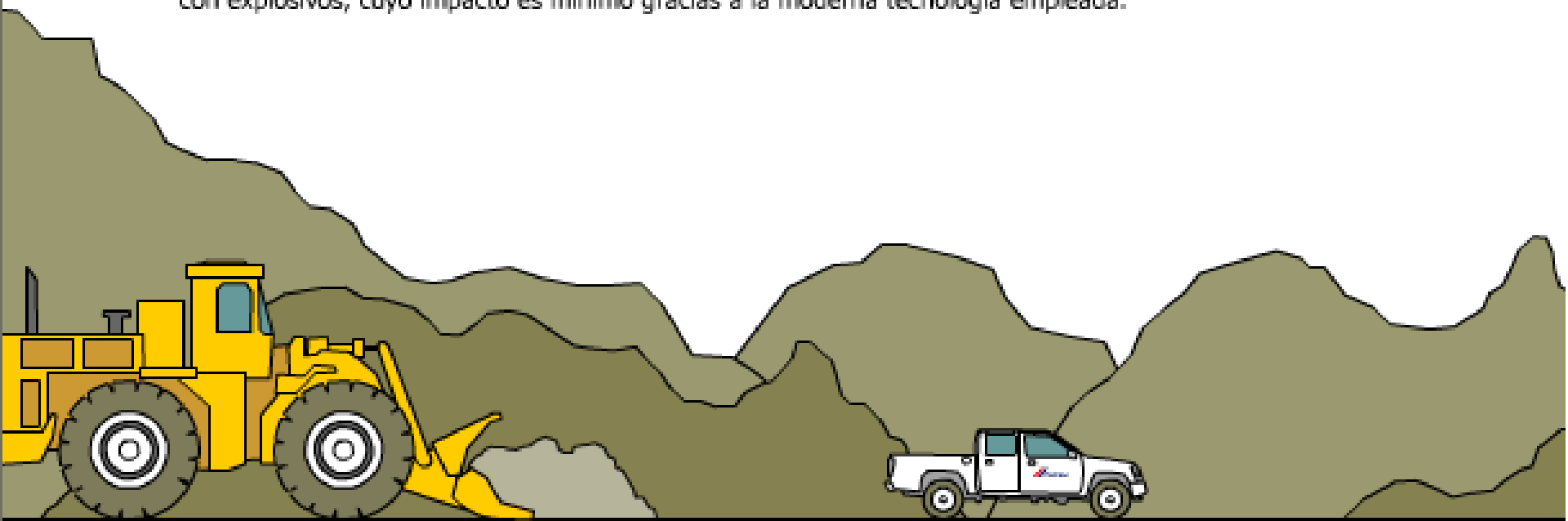
*cristales blancos:

C₄AF

Cómo hace el cemento CEMEX

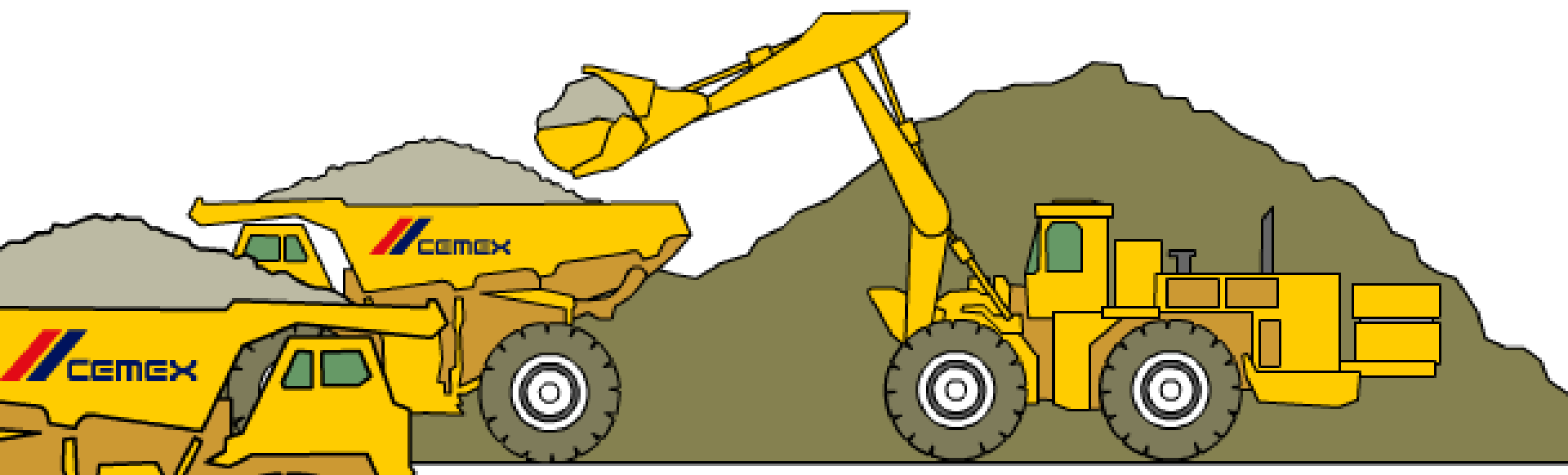
1 Explotación de materias primas

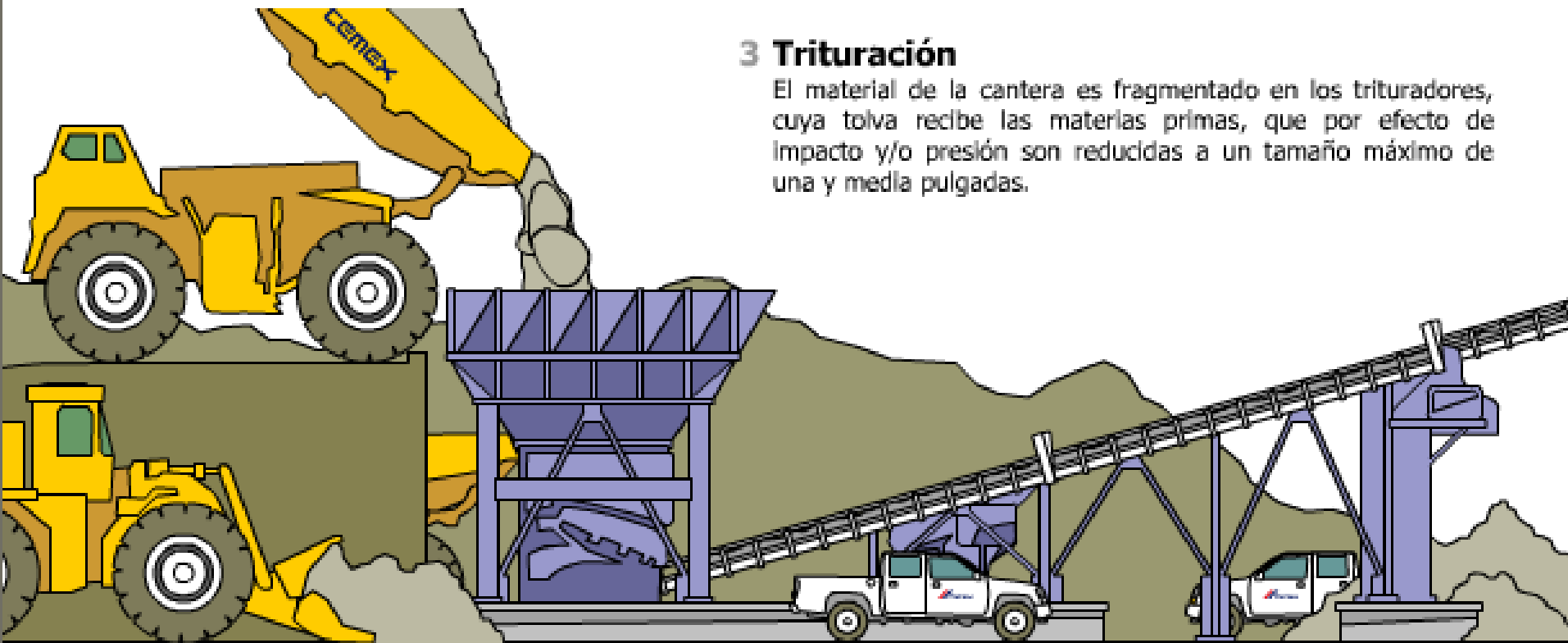
De las canteras de piedra se extrae la caliza y la arcilla a través de barrenación y detonación con explosivos, cuyo impacto es mínimo gracias a la moderna tecnología empleada.



2 Transporte de materias primas

Una vez que las grandes masas de piedra han sido fragmentadas, se transportan a la planta en camiones o bandas.



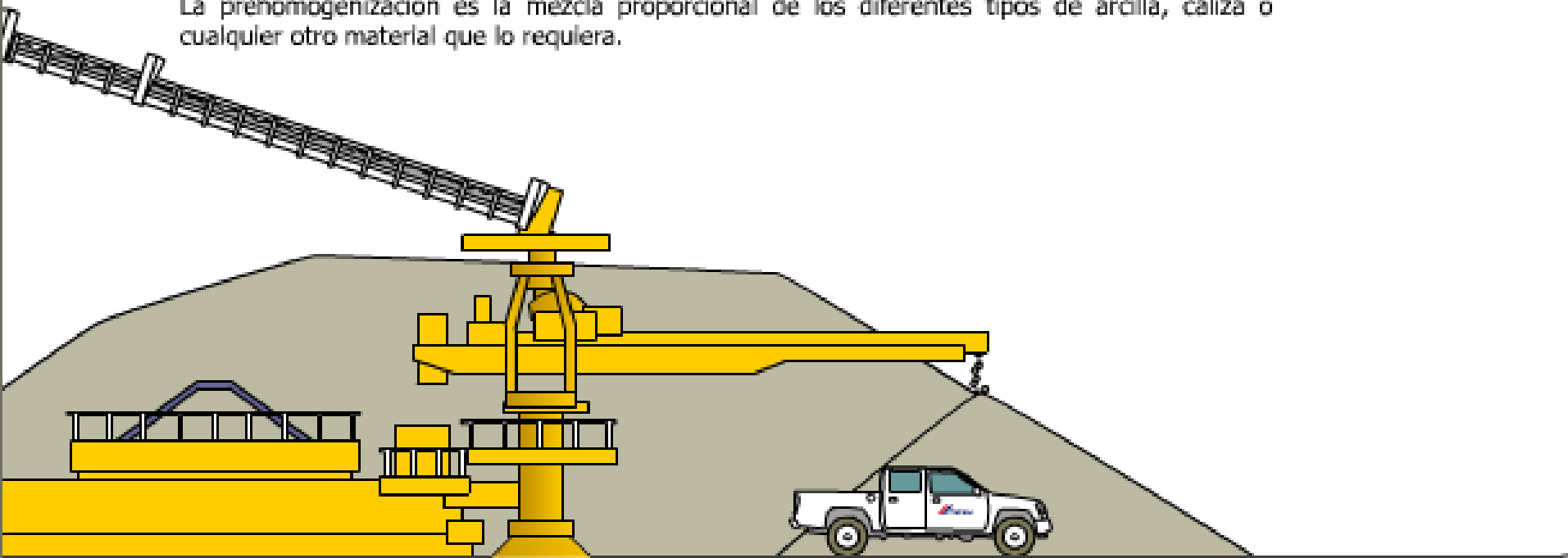


3 Trituración

El material de la cantera es fragmentado en los trituradores, cuya tolva recibe las materias primas, que por efecto de impacto y/o presión son reducidas a un tamaño máximo de una y media pulgadas.

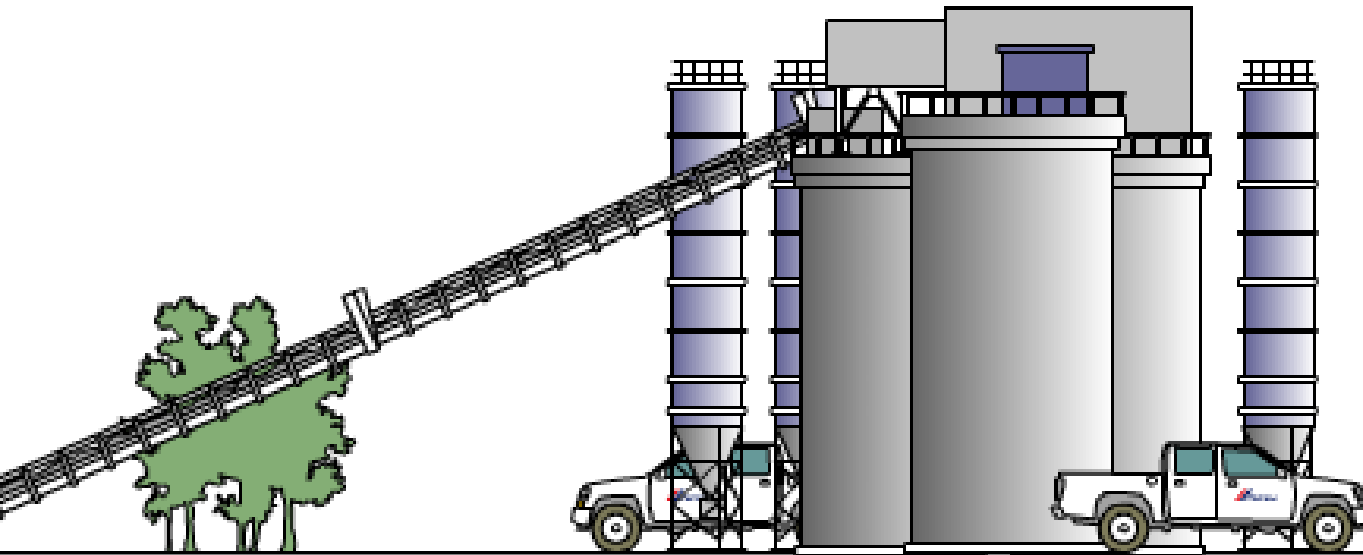
4 Prehomogenización

La prehomogenización es la mezcla proporcional de los diferentes tipos de arcilla, caliza o cualquier otro material que lo requiera.



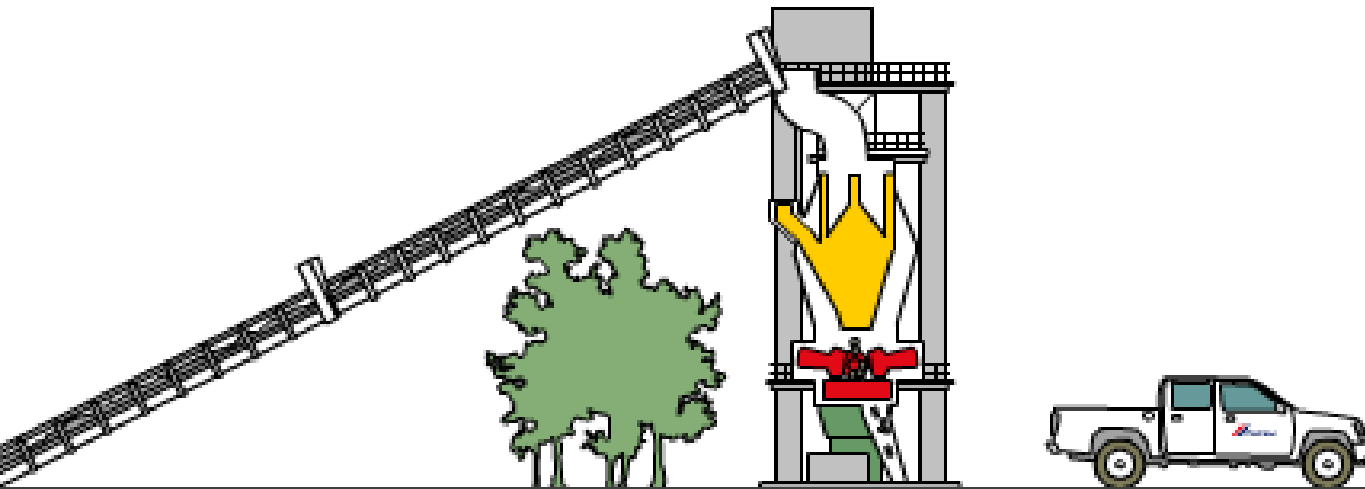
5 Almacenamiento de materias primas

Cada una de las materias primas es transportada por separado a silos en donde son dosificadas para la producción de diferentes tipos de cemento.



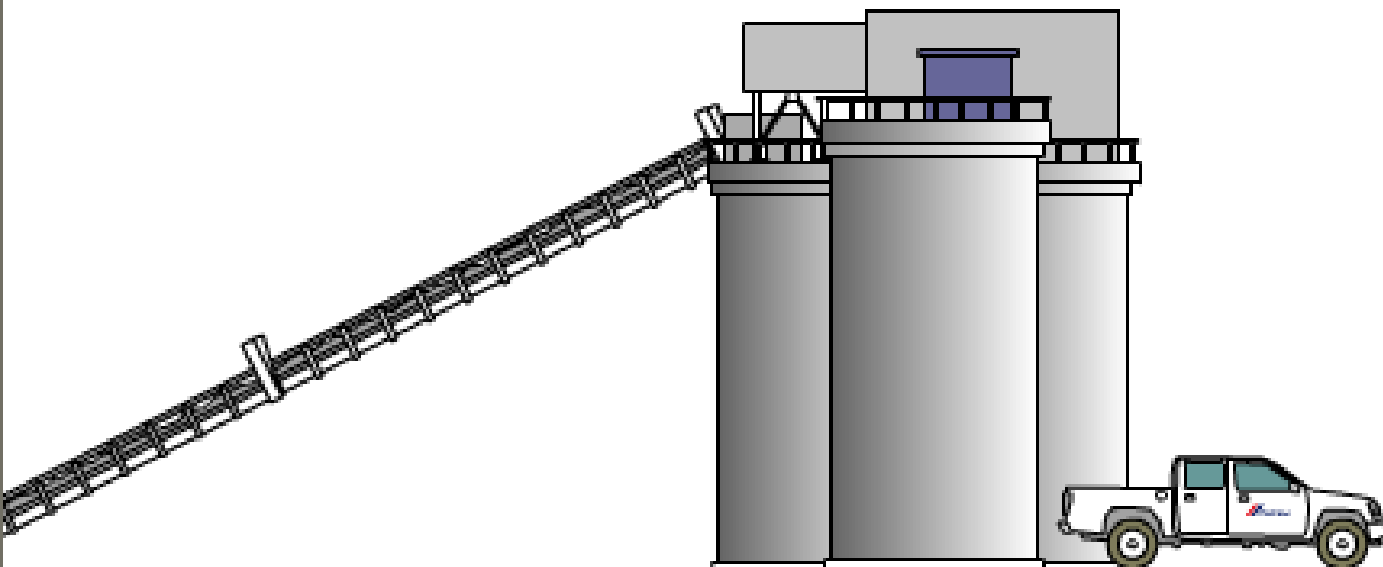
6 Molienda de materia prima

Se realiza por medio de un molino vertical de acero, que muele el material mediante la presión que ejercen tres rodillos cónicos al rodar sobre una mesa giratoria de molienda. Se utilizan también para esta fase molinos horizontales, en cuyo interior el material es pulverizado por medio de bolas de acero.



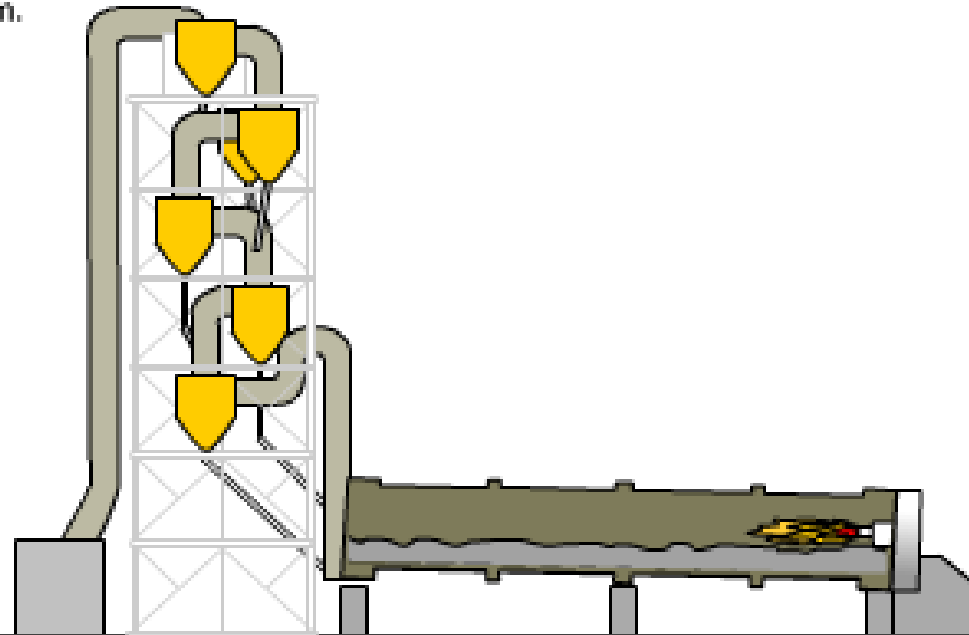
7 Homogenización de harina cruda

Se realiza en los silos equipados para lograr una mezcla homogénea del material.



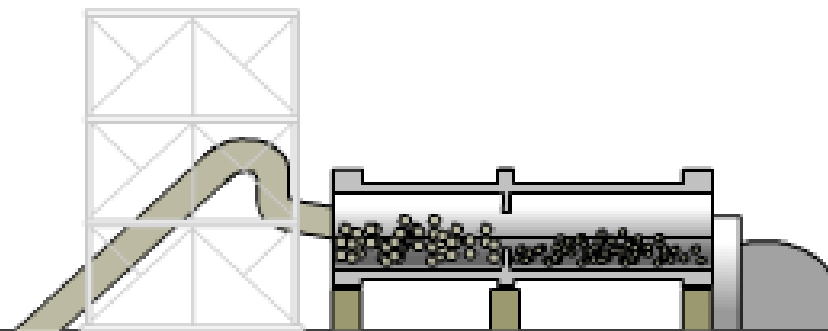
8 Calcinación

La calcinación es la parte medular del proceso, donde se emplean grandes hornos rotatorios en cuyo interior, a 1400°C la harina se transforma en clínker, que son pequeños módulos gris oscuros de 3 a 4 cm.



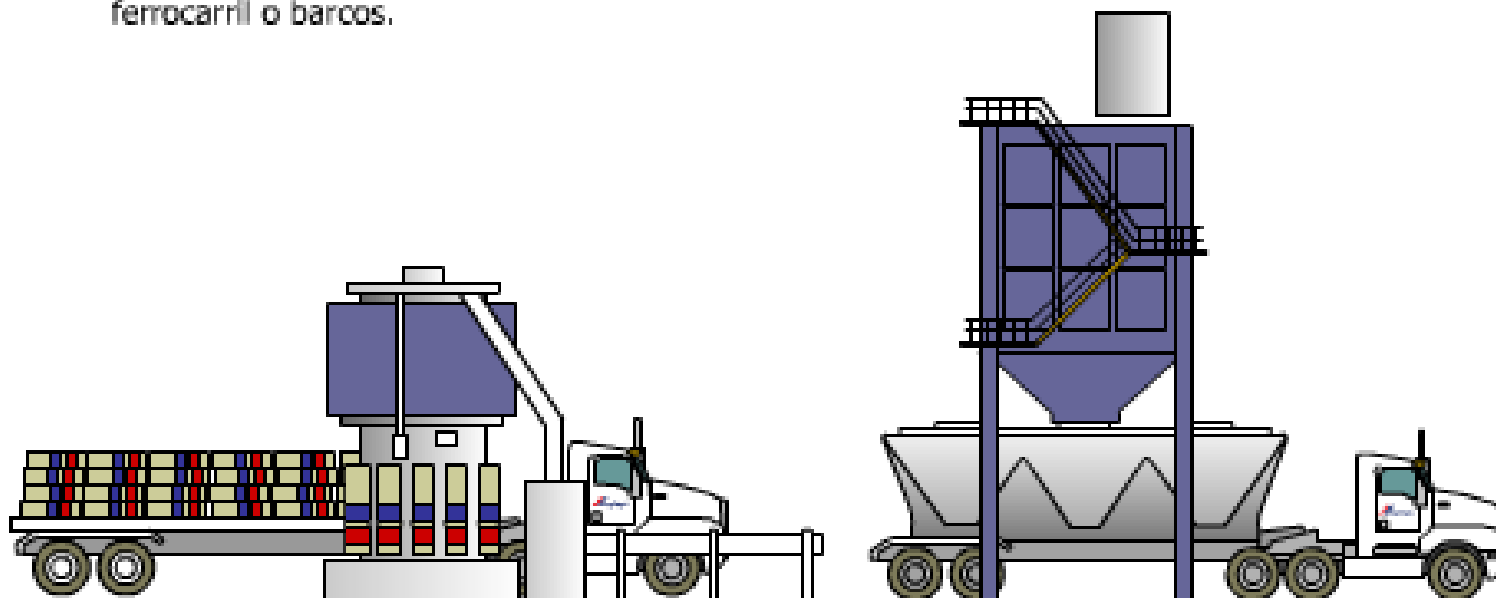
9 Molienda de cemento

El clinker es molido a través de bolas de acero de diferentes tamaños a su paso por las dos cámaras del molino, agregando el yeso para alargar el tiempo de fraguado del cemento.



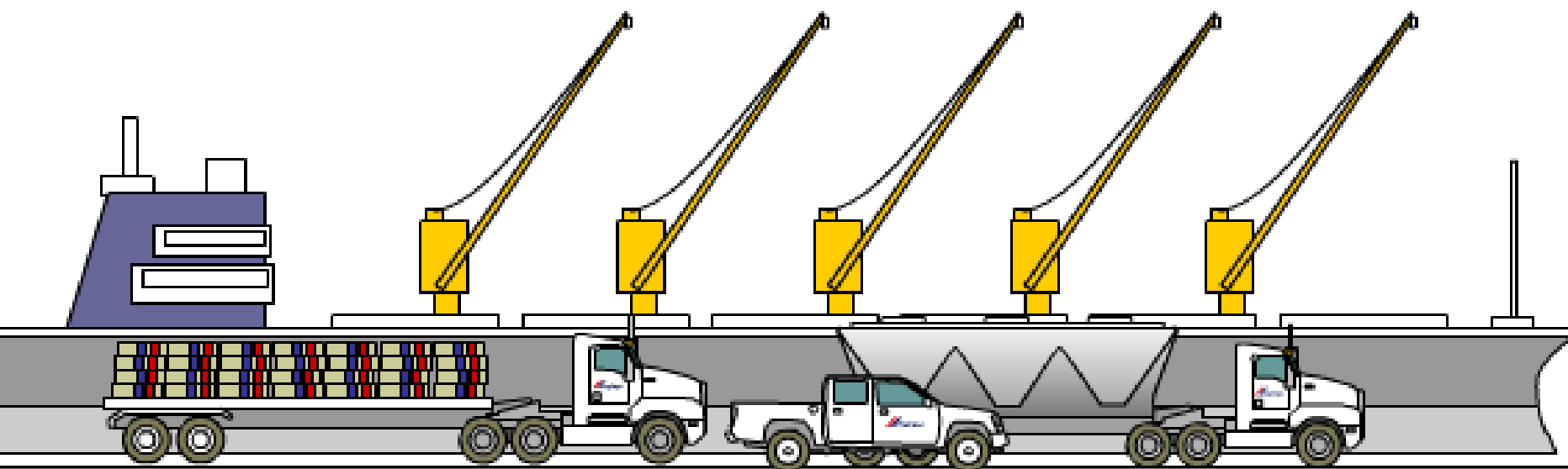
10 Envase y embarque del cemento

El cemento es enviado a los silos de almacenamiento; de los que se extrae por sistemas neumáticos o mecánicos, siendo transportado a donde será envasado en sacos de papel, o surtido directamente a granel. En ambos casos se puede despachar en camiones, tolvas de ferrocarril o barcos.

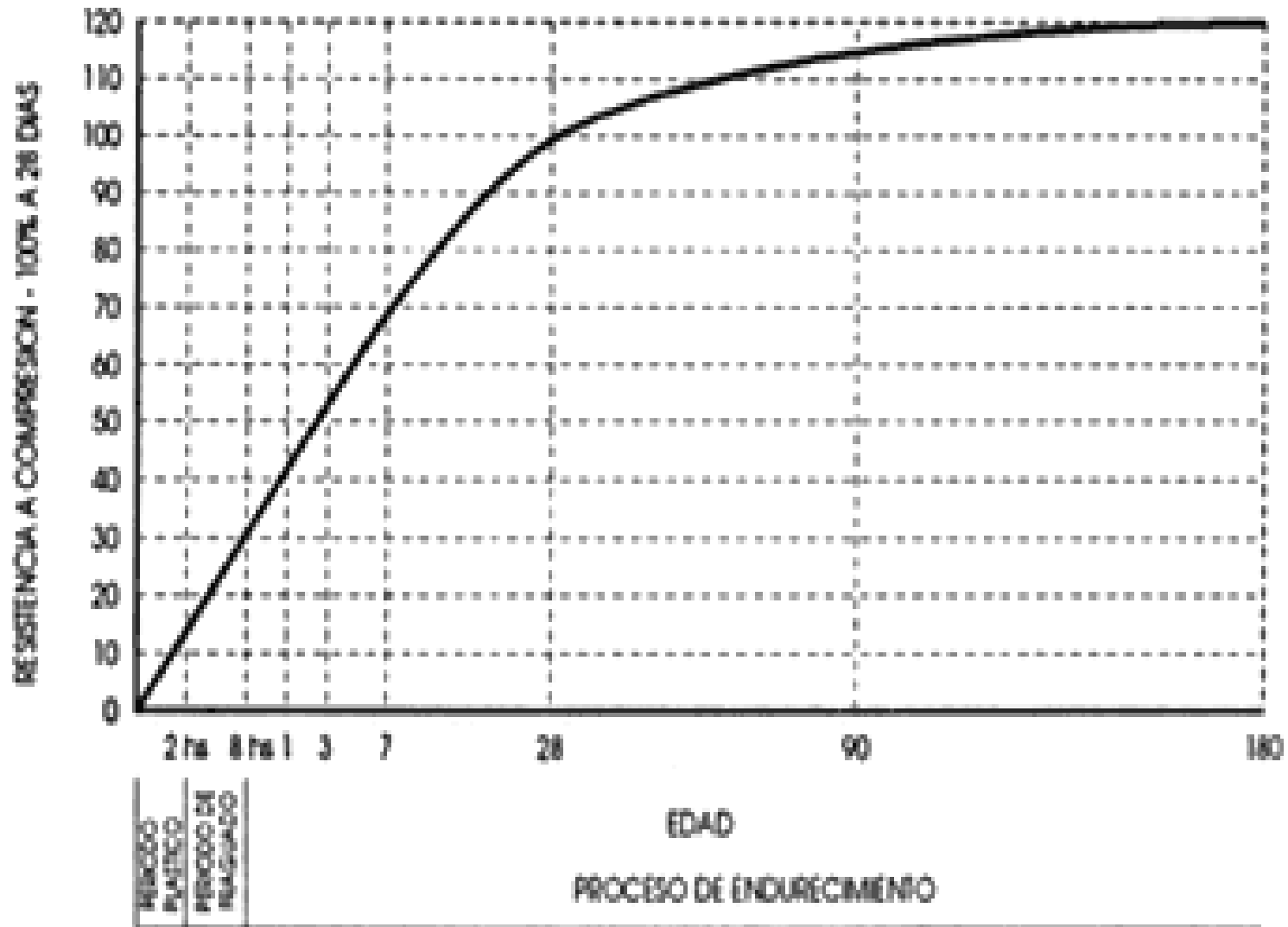


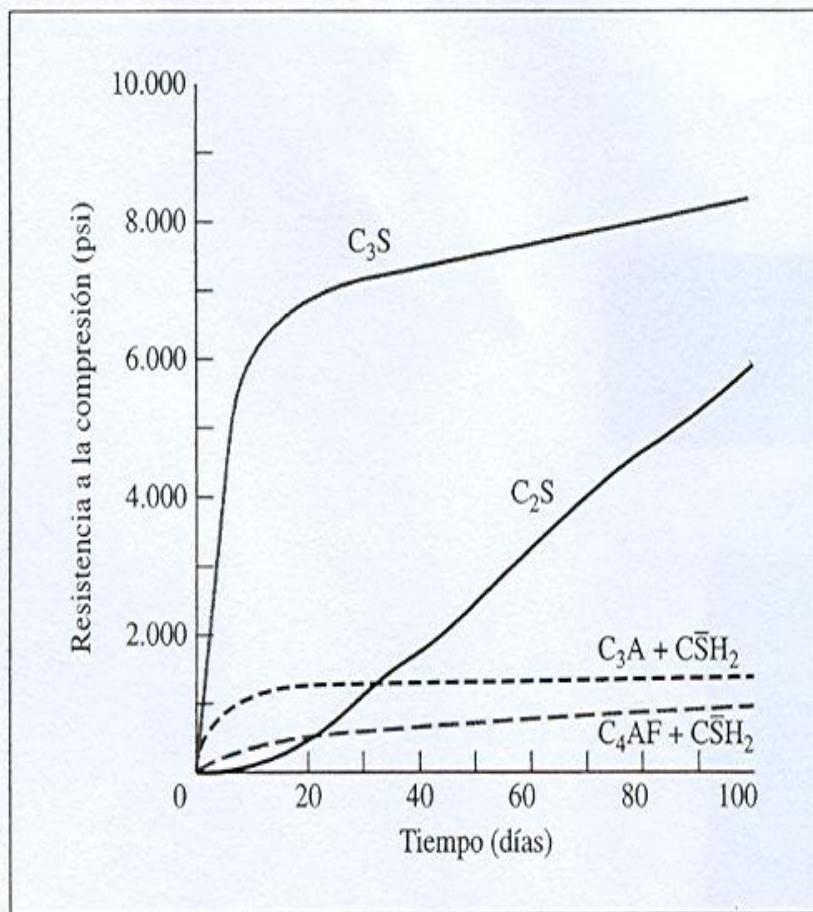
10 Envase y embarque del cemento

El cemento es enviado a los silos de almacenamiento; de los que se extrae por sistemas neumáticos o mecánicos, siendo transportado a donde será envasado en sacos de papel, o surtido directamente a granel. En ambos casos se puede despachar en camiones, tolvas de ferrocarril o barcos.



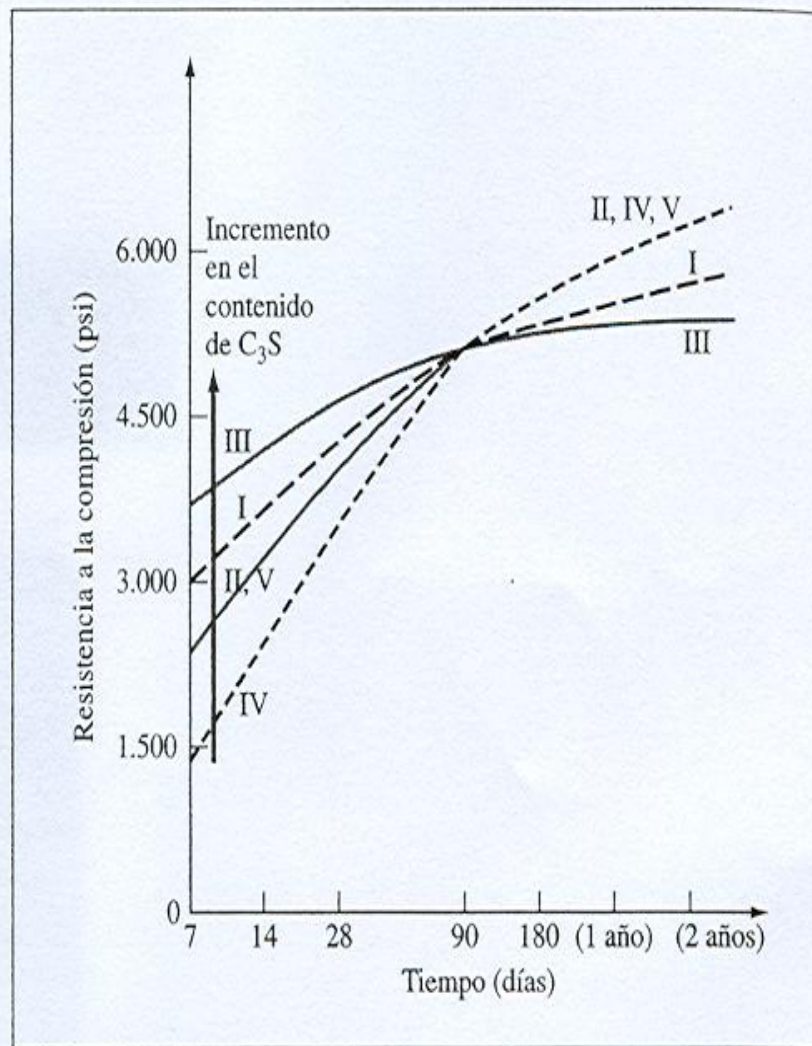
Desarrollo de la Resistencia en el Tiempo de un Hormigón con Cemento Pórtland Normal





[Según J. F. Young, *J. Educ. Module Mater. Sci.*, 3:420 (1981). Usado con permiso del *Journal of Materials Education*, University Park, Pa, USA.]

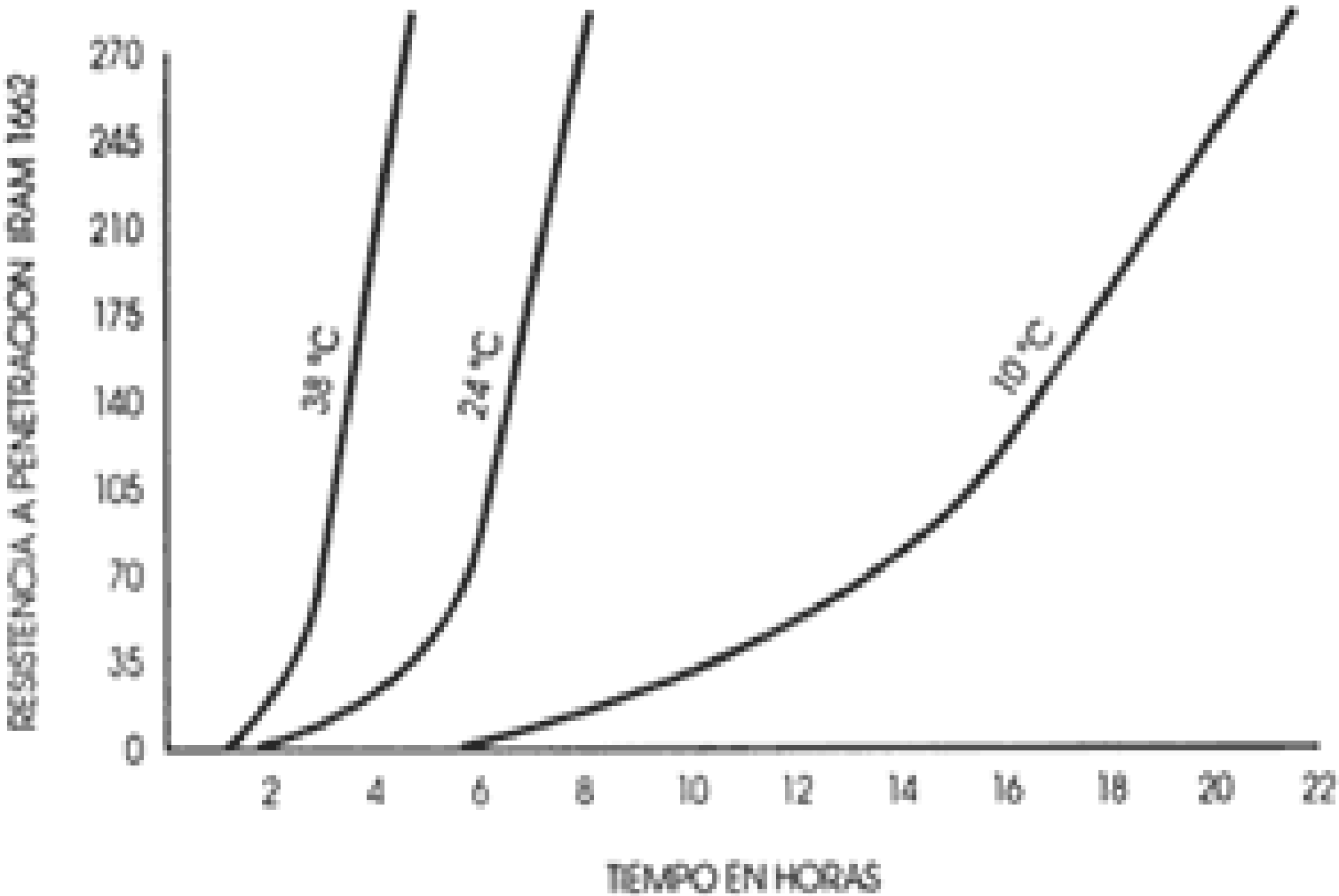
FIGURA 11.28. Resistencia a la compresión de componentes de cemento puro en función del tiempo de curado (endurecimiento). C \bar{S} H₂ es la expresión abreviada del CaSO₄ · 2H₂O.



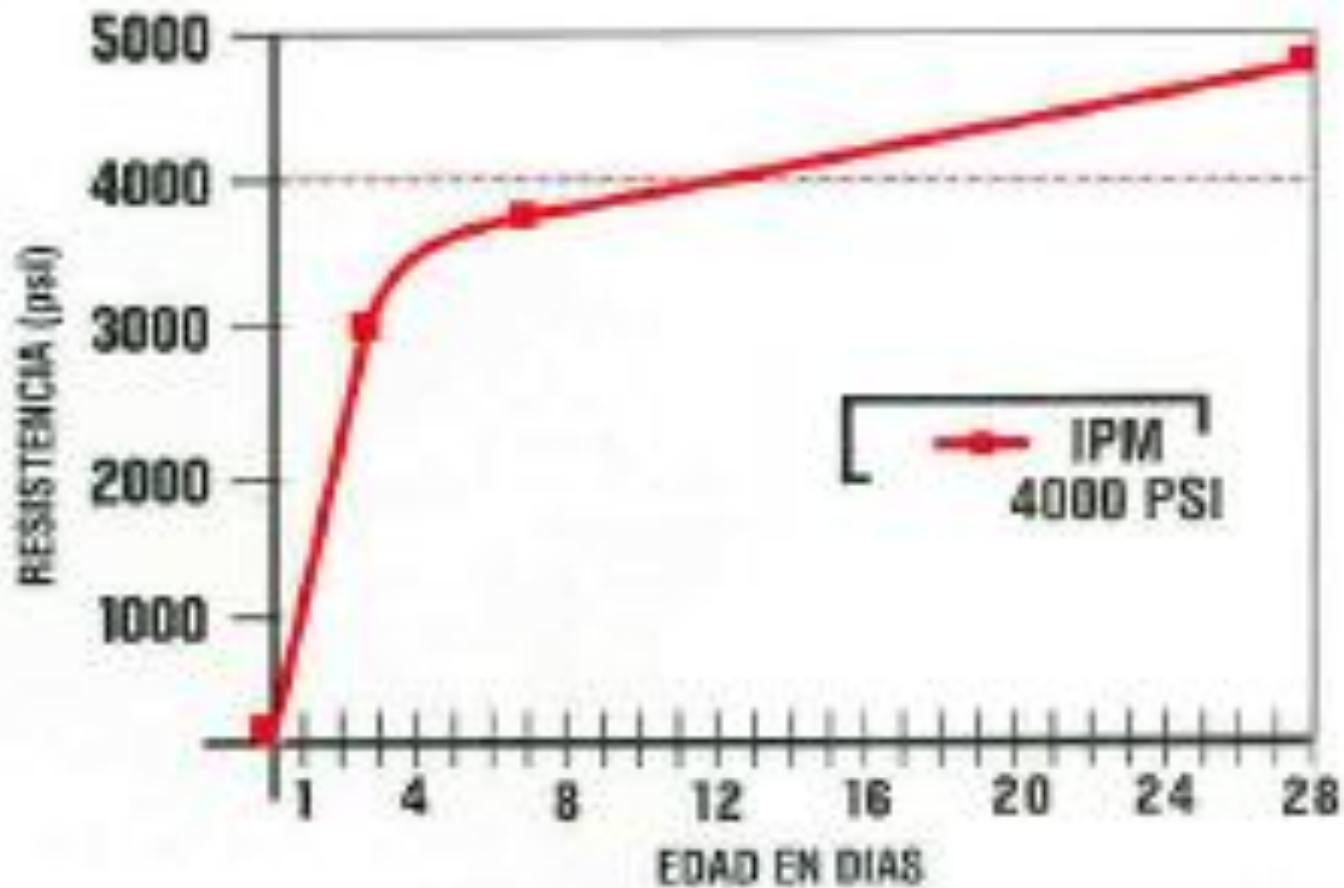
[Según J. F. Young, *J. Educ. Module Mater. Sci.*, 3:420 (1981). Usado con permiso del *Journal of Materials Education*, University Park, Pa., USA]

FIGURA 11.29. Resistencia a la compresión de hormigones fabricados con diferentes tipos ASTM de cementos, en función del tiempo de curado.

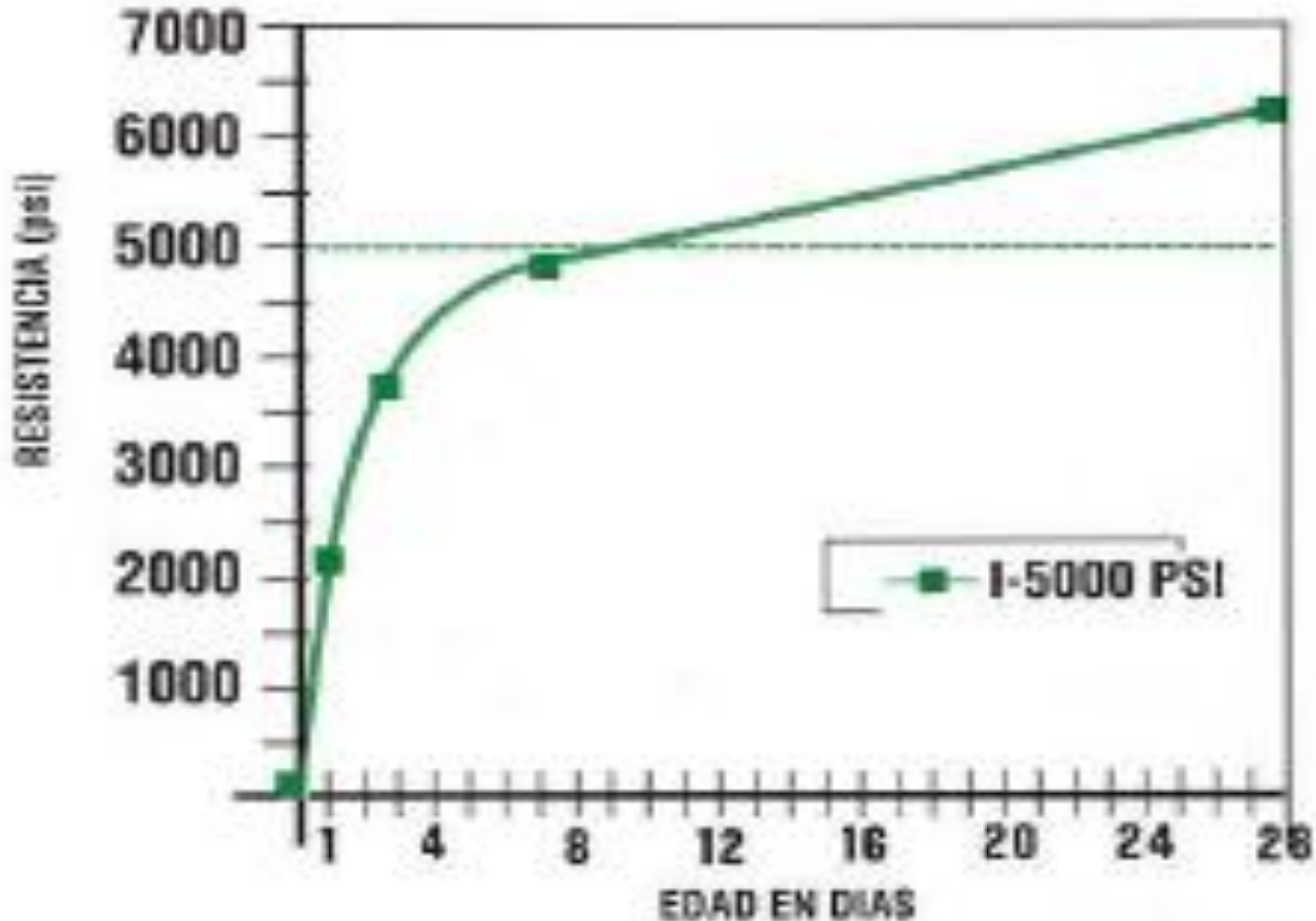
Curvas de Fraguado de Mortero de Cemento Pórtland Normal para Distintas Condiciones de Temperatura.



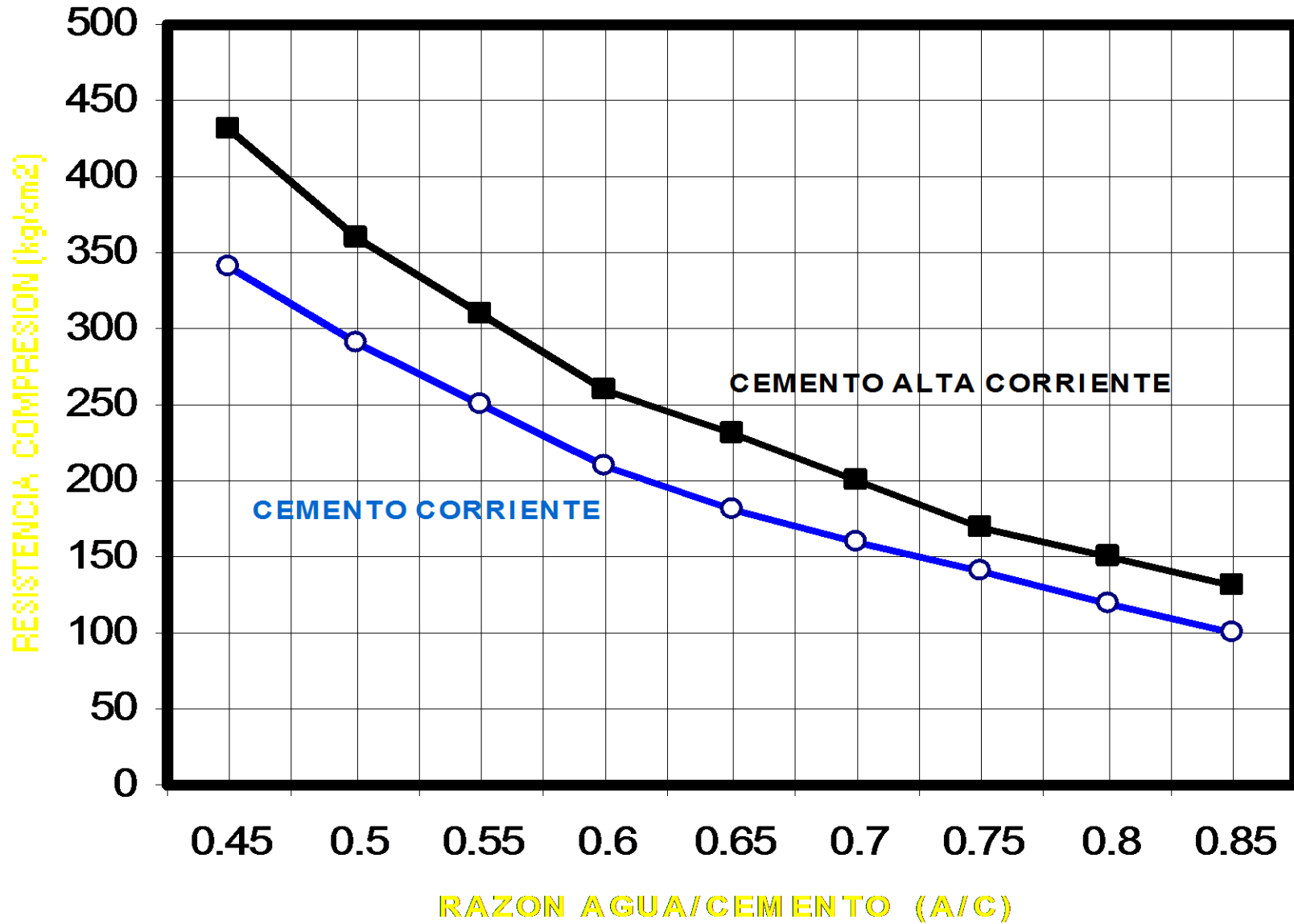
GRAFICA DE DESARROLLO TIPICO DE RESISTENCIA A COMPRESION CEMENTO PROGRESO 4000 PSI - 28 N/mm²



GRAFICA DE DESARROLLO TIPICO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN CEMENTO PROGRESO 5000 PSI - 35 N/mm²



RELACION RAZON AGUA/CEMENTO VERSUS RESISTENCIA A LA COMPRESION



ENSAYES AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO



MEDIDA DE LA TRABAJABILIDAD DEL HORMIGON FRESCO

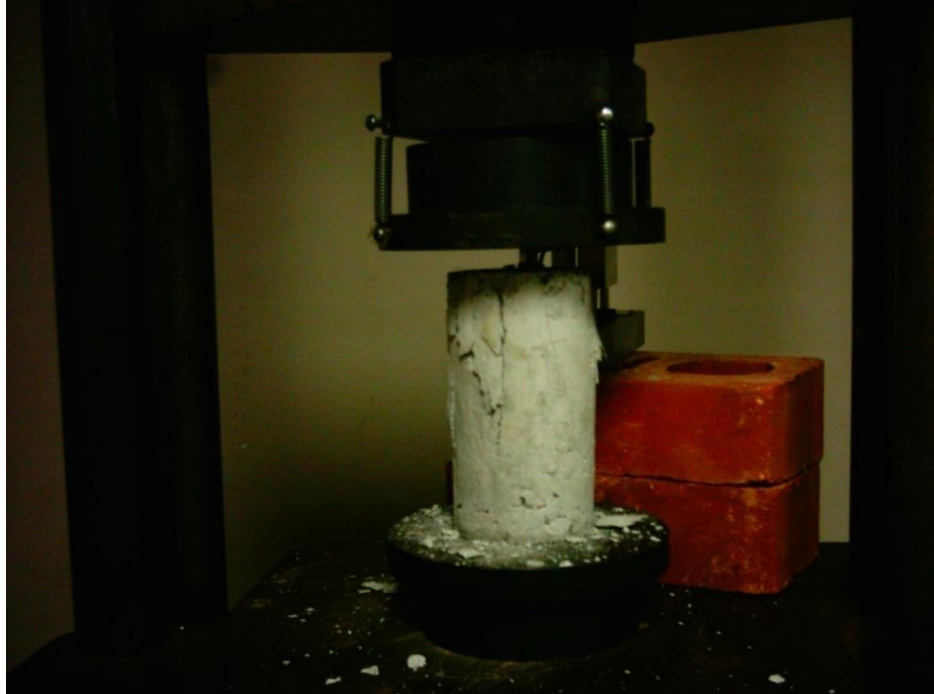
EL ASENTAMIENTO DE CONO (NCh 1019). ESTE ENSAYO FUE IDEADO POR EL INVESTIGADOR NORTEAMERICANO **ABRAMS** CONSISTE BÁSICAMENTE EN RELLENAR UN MOLDE METÁLICO TRONCOCÓNICO DE DIMENSIONES NORMALIZADAS, EN TRES CAPAS APISONADAS CON 25 GOLPES DE VARILLA-PISÓN Y, LUEGO DE RETIRAR EL MOLDE, MEDIR EL ASENTAMIENTO QUE EXPERIMENTA LA MASA DE HORMIGÓN COLOCADA EN SU INTERIOR



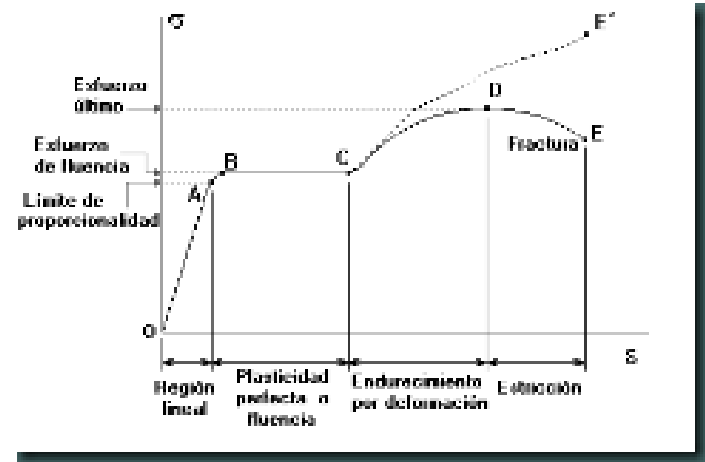
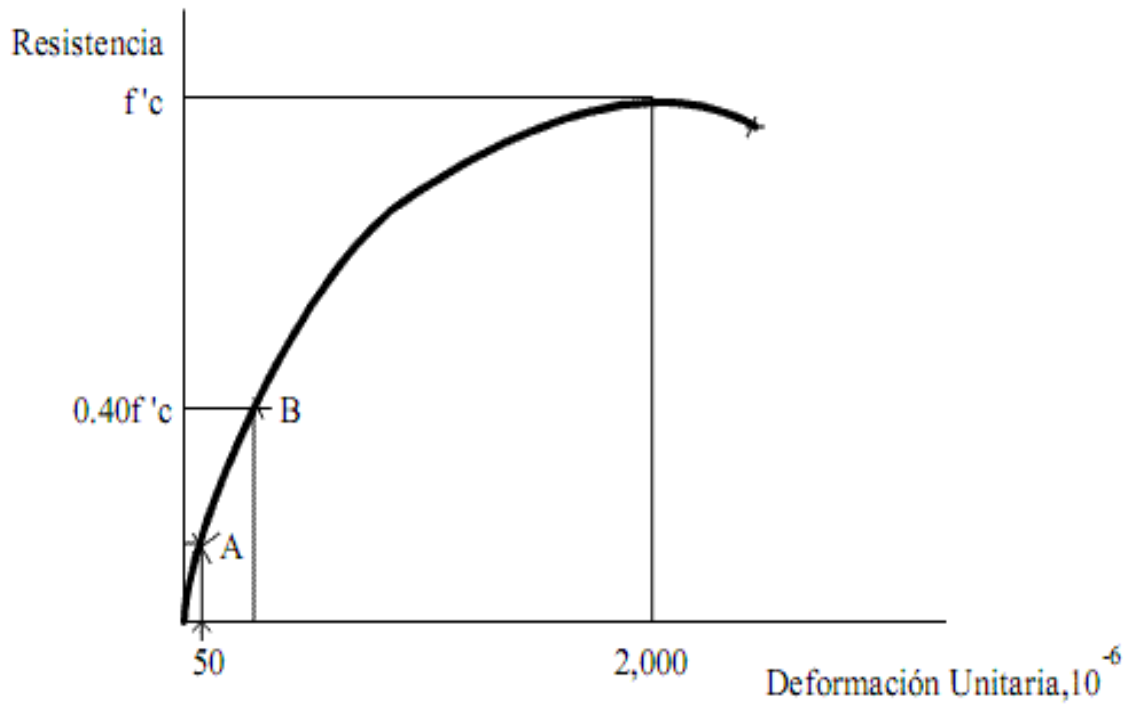
Estados del Hormigón	FLUIDEZ				
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Asentamiento cono de Abrams	0-1 cm	2-3 cm	4-6 cm	7-9 cm	10-12cm





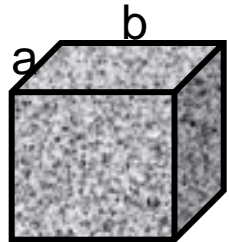


MODULO DE RUPTURA

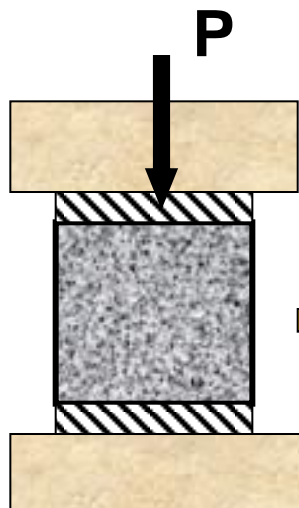


ENSAYO DE COMPRESION DE PROBETAS CUBICAS Y CILINDRICAS DE HORMIGON (NCh 1037. Of77)

Probeta cúbica



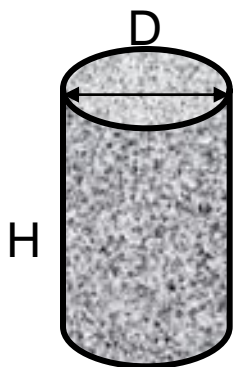
Medidas
15x15x15 cm
20x20x20 cm



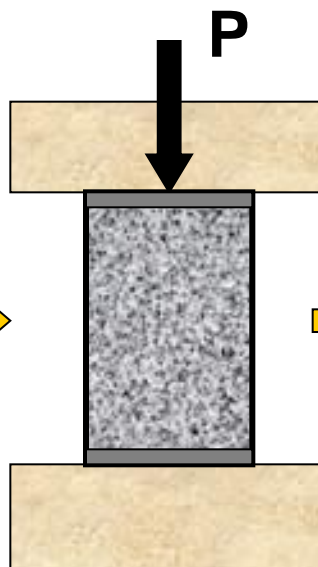
$$R_c = P/A$$

$A = a \times b$ (sección cm^2)
 $P =$ carga máxima

Probeta cilíndrica



Medidas
Diámetro=15 cm
Altura = 30 cm



$$R_c = P/A$$

$A = 3,14 \times D^2 / 4$
 $P =$ carga máxima

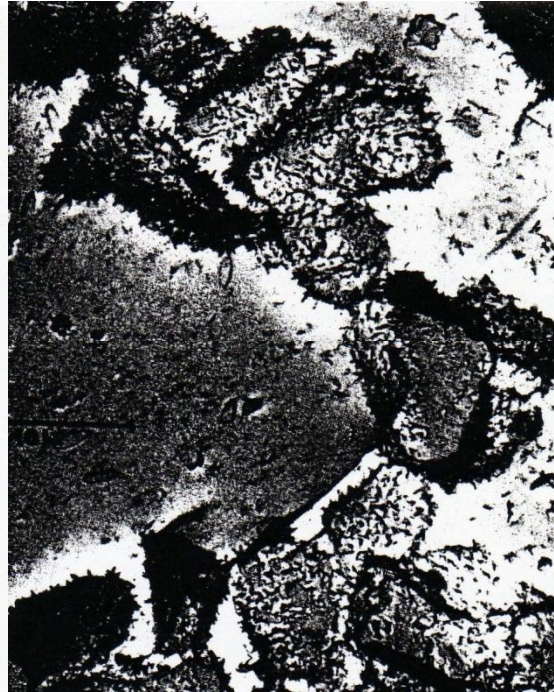
Fraguado del cemento

- Cuando se le añade agua a las partículas de cemento, éstas reaccionan formando un coloide.
- Este coloide se entrelazan entre sí, formando una estructura muy densa, que le proporciona al cemento su elevada resistencia mecánica a la compresión.
- El proceso completo de fraguado puede durar hasta 10 años.
- En el momento de agregar el agua el proceso de fraguado se hace irreversible.

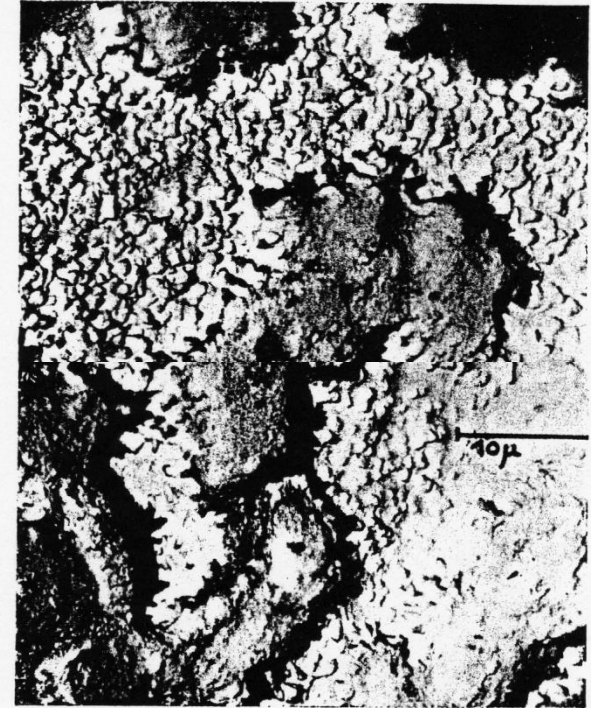


Granos de cemento un poco después del mezclado con el agua (microscopio electrónico, 2.700x).

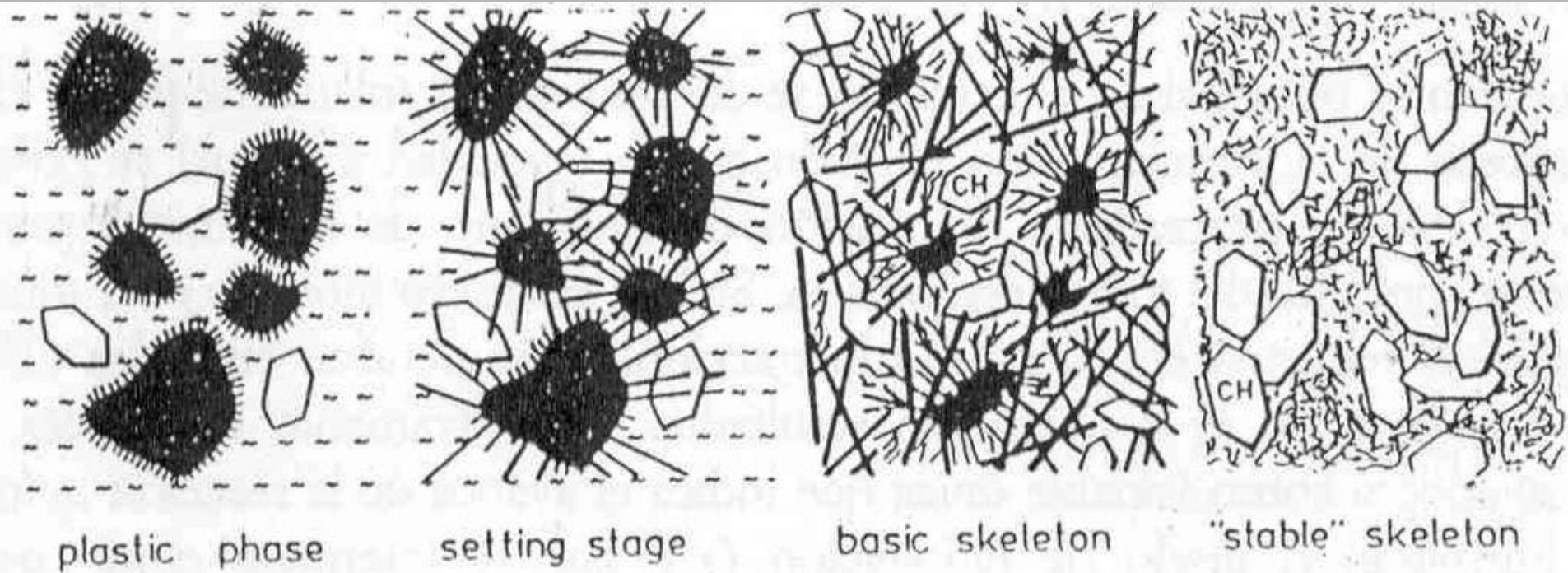
**poco después
del mezclado
con el agua**



**1 hora
después**



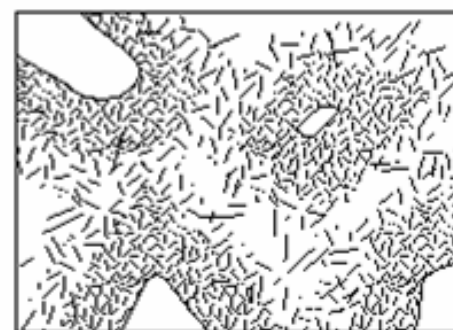
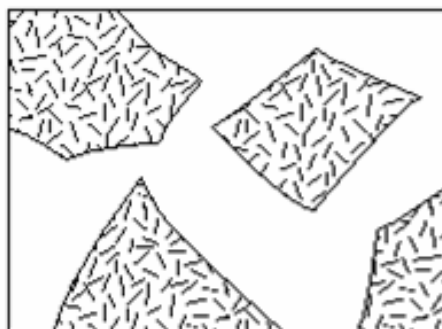
**28 días
después**



Fase inicial

Fase intermedia

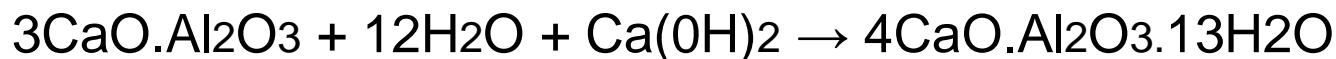
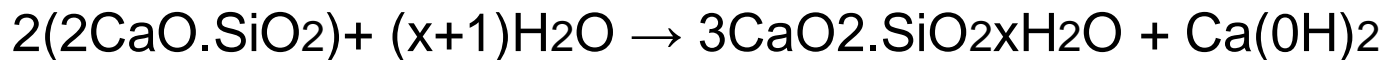
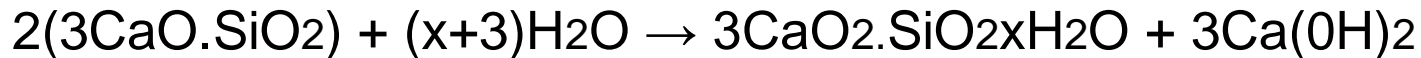
Fase final



Cuatro etapas en el asentamiento y endurecimiento del cemento Portland: representación simplificada de la secuencia de cambios. (a) Dispersión de clinker que no ha reaccionado en agua. (b) Después de varios minutos; los productos de hidratación crece se hinchan y crecen fuera de la superficie de cada grano. (c) Después de varias horas; el recubrimiento de diferentes granos de clinker

Reacciones de hidratación

Las reacciones de hidratación, que forman el *proceso de fraguado* son:



Estas reacciones son todas exotérmicas.

La más exotérmica es la hidratación de $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, seguida de la de $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, y luego $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ y finalmente $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$.

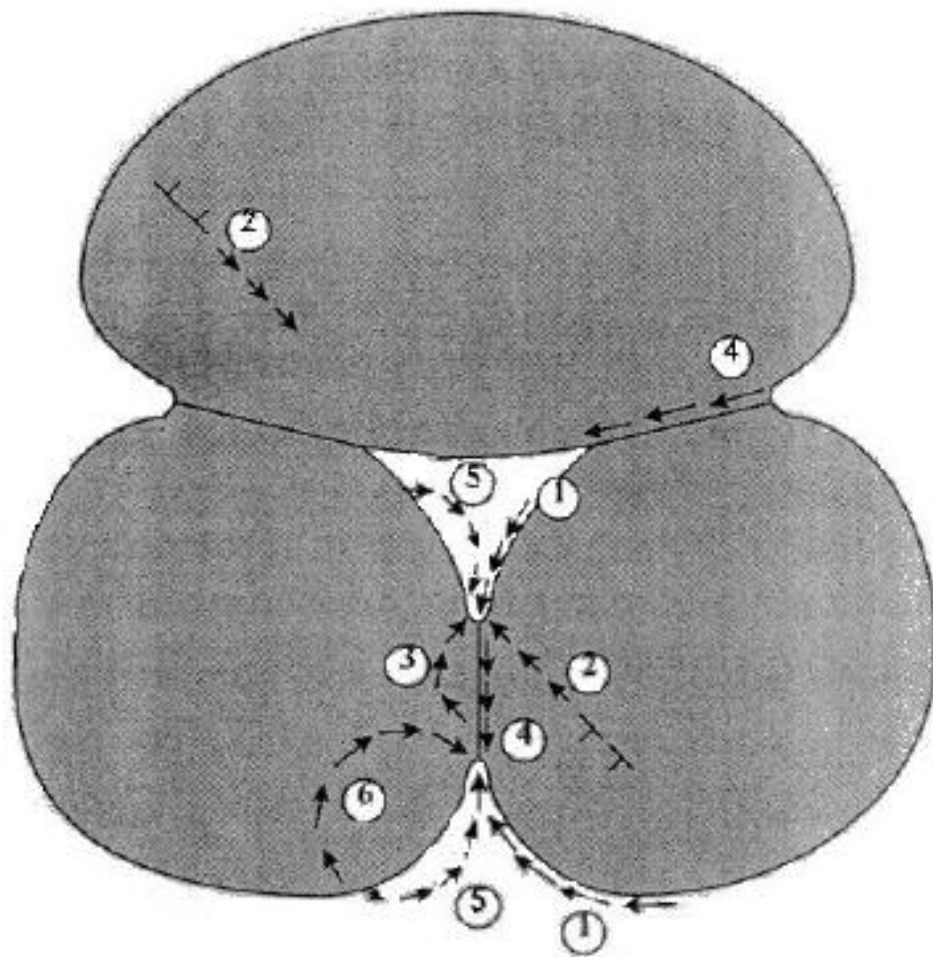
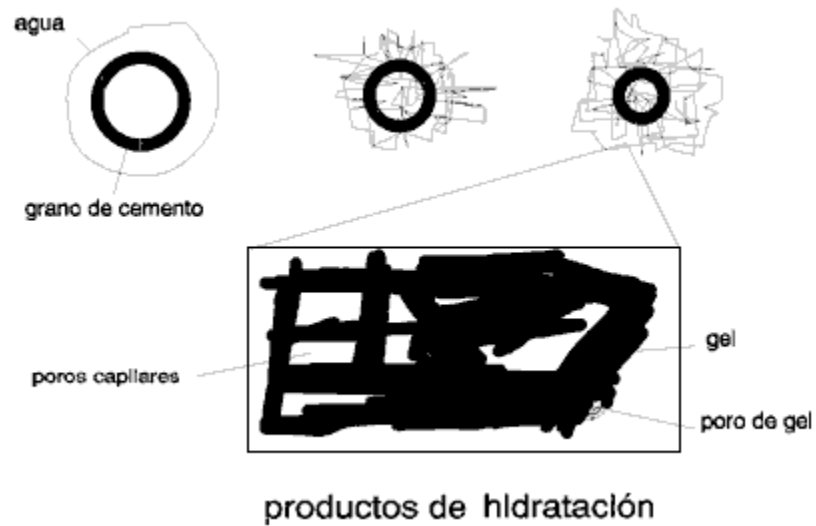
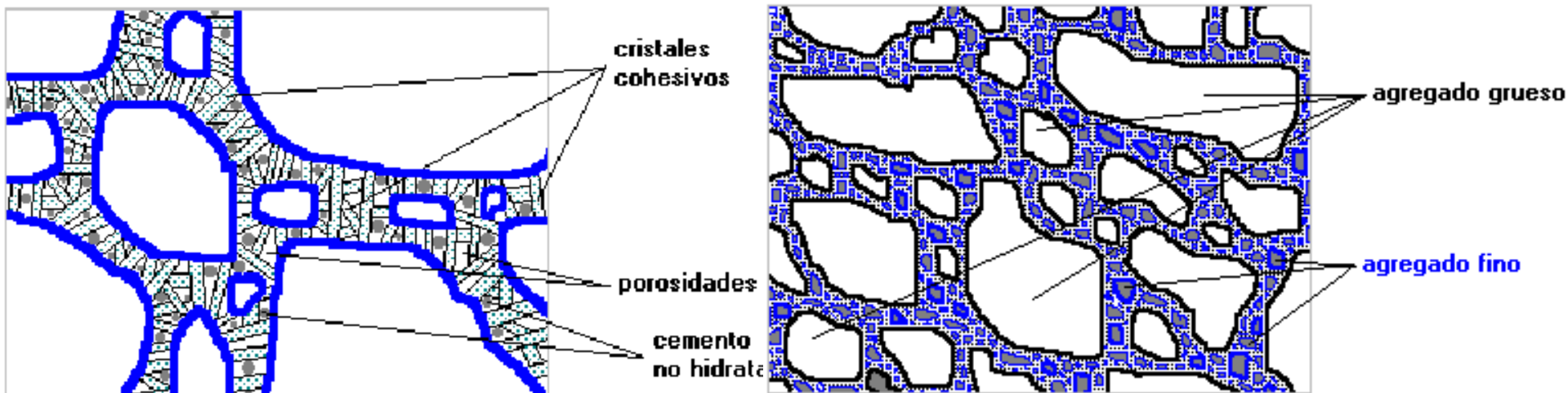


Figura 6. Mecanismos de transporte de masa (Bose 1995).

1. Difusión superficial, 2. Fluencia plástica, 3. Difusión en volumen, 4. Difusión a través del límite de partícula / borde de grano, 5. Evaporación y condensación, 6. Difusión adhesión.



Proceso de Hidratación de un Grano de Cemento Portland.

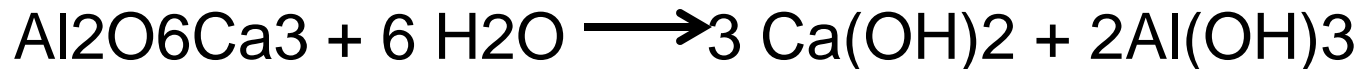
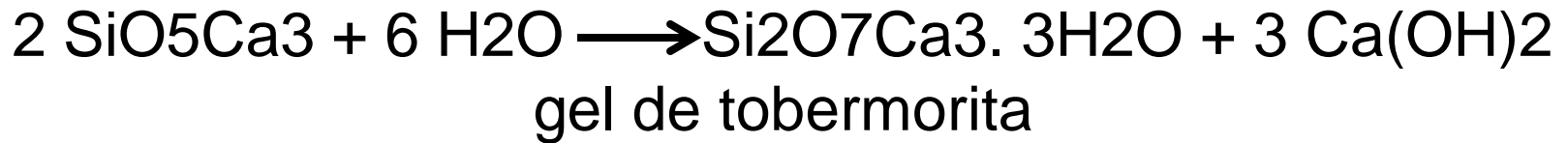


Los compuestos del cemento así formado son:

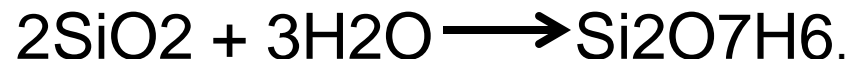
Componentes del cemento Pórtland

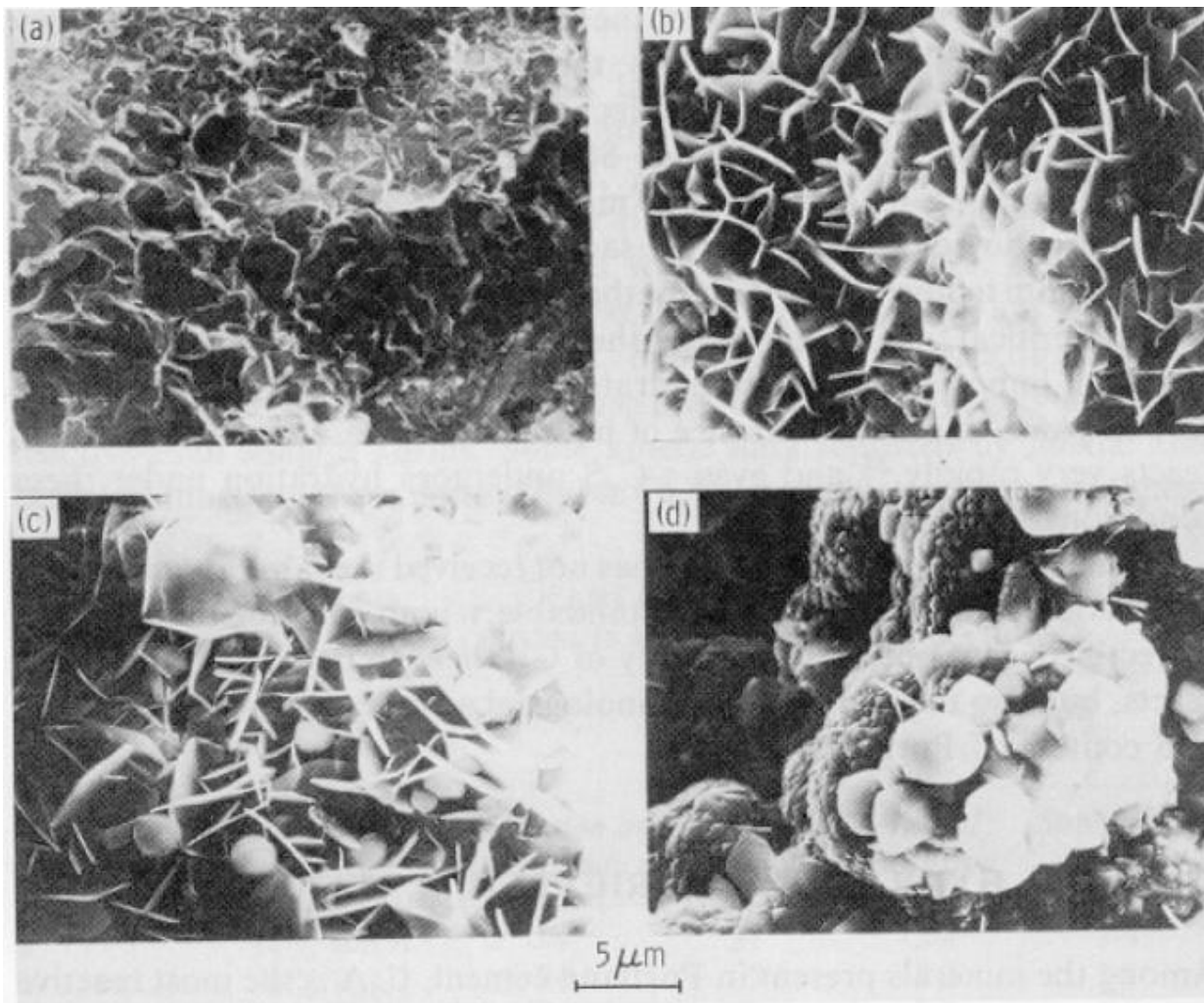
NOMBRE	FÓRMULA	FÓRMULA DE ÓXIDOS	PORCIENTO
Silicato dicálcico	Ca_2SiO_4	$\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$	32%
Silicato tricálcico	Ca_3SiO_5	$\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$	40%
Aluminato tricálcico	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$	10%
Ferroaluminato tetra cálcico	$\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{CaO}$	9%
Sulfato de calcio	CaSO_4		2-3%

Ecuaciones de fraguado del cemento



El gel de tobermorita es un tipo de silicato hidratado que podemos considerar proveniente del ácido “ortosilícico” o sea que se forma de la siguiente manera:





Micrografías de los productos de hidratación del C3A en ausencia de yeso.

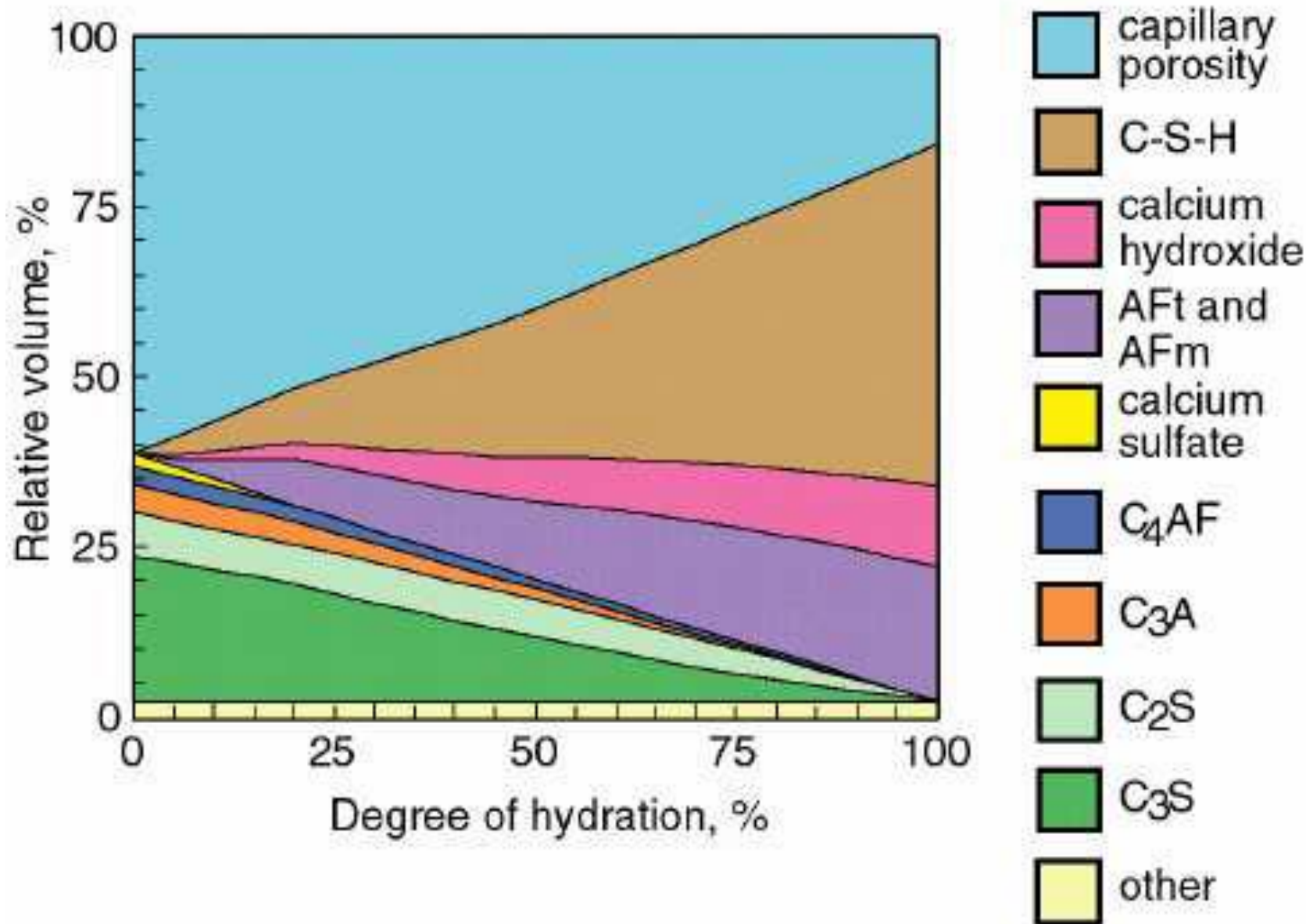
(a).- Gel consistente en laminillas irregulares.

(b).- Escamas hexagonales de C_nAH_{1m}



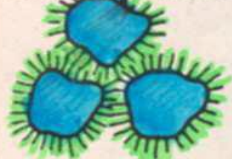




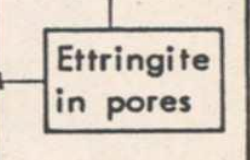



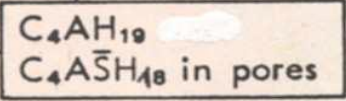

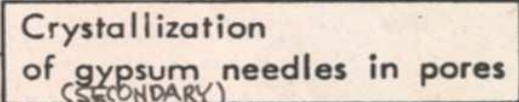
(c).- C_4AH_{19} hexagonal y C_3AH_6 cúbico.

(d).- C_3AH_6 cúbico.

Se muestra, la evolución del volumen relativo, de cada una de las fases presentes durante la hidratación, en función del grado de hidratación.

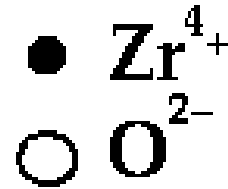
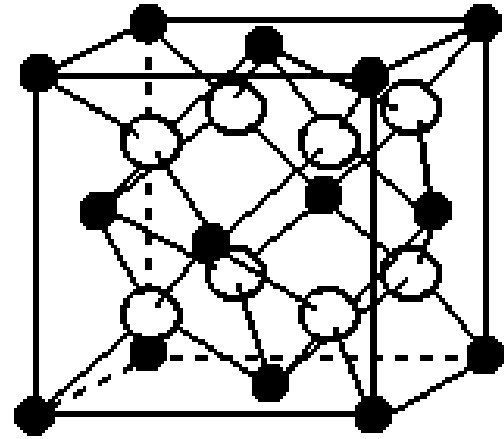


$$R = \frac{[SO_4^{2-}]}{[AlO_2^-]}$$

Reactivity of C ₃ A in Clinker	Availability of sulfate in solution	Hydration Age			
		< 10 min	10 - 45 min	1 - 2 hours	2 - 4 hours
<u>CASE I</u>		workable  ETTRINGITE COATING	workable  ETTRINGITE COATING	less workable 	normal set 
Low	Low				
<u>CASE II</u>		workable  ETTRINGITE COATING	less workable  ETTRINGITE COATING	normal set 	 Ettringite in pores
High	High				
<u>CASE III</u>		workable  ETTRINGITE COATING	quick set  ETTRINGITE COATING		
High	Low				
<u>CASE IV</u>		Flash set  ETTRINGITE COATING		 C ₄ AH ₁₀ C ₄ AŠH ₁₈ in pores	
High	None or very low				
<u>CASE V</u>		false set  ETTRINGITE COATING		 ETTRINGITE COATING Crystallization of gypsum needles in pores (SECONDARY)	
Low	High				

Circonia

- Dióxido de circonio ZrO_2 .
- De forma pura es polimorfo.
- Material quebradizo.
- Al combinarse con algún tipo de óxido refractario, como el de calcio (CaO), el de magnesio (MgO) o el de itrio (Y_2O_3), mejora sus habilidades mecánicas.



Algunas aplicaciones son:

- Se utiliza en trabajos en los que se desee una buena resistencia a impactos.
- Fabricación de barreras térmicas para motores de alta eficiencia.
- Herramientas cortantes.
- Implantes biológicos.
- Sensores de oxígeno de alta temperatura.
- Algunas aplicaciones metalúrgicas.

Características

- La circonia es estable en forma de óxidos.
- Reacciona con carbono, hidrógeno y nitrógeno por encima de los $2,200^{\circ}\text{C}$.
- Es inerte a los ácidos y a las bases a temperatura ambiente.
- Es insoluble en agua.
- Experimenta cambios estructurales, dependiendo de las condiciones de temperatura en las que se encuentra.

Circonia con forma esférica

