

# 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**

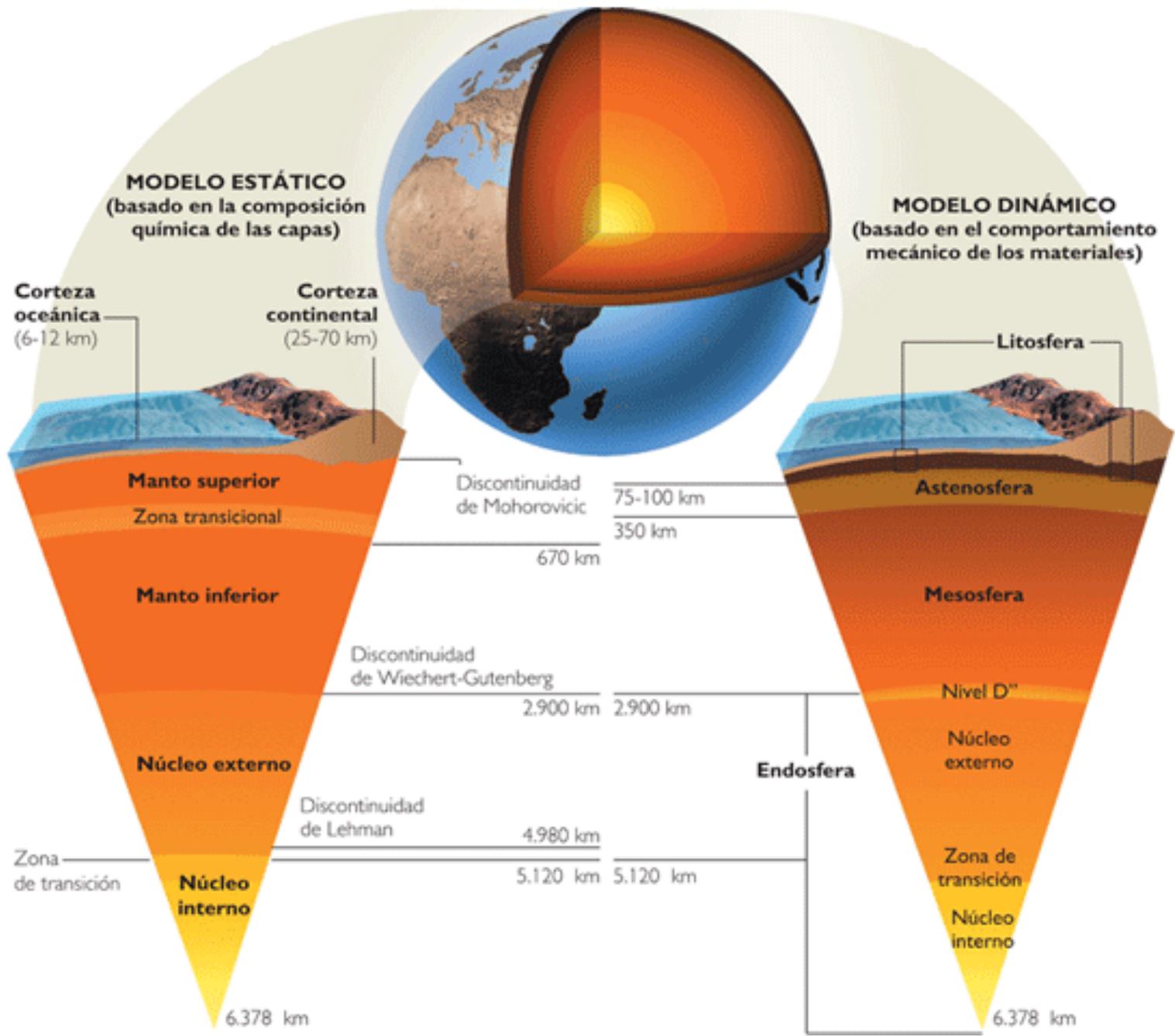


**Roca sedimentaria**



**Roca metamórfica**

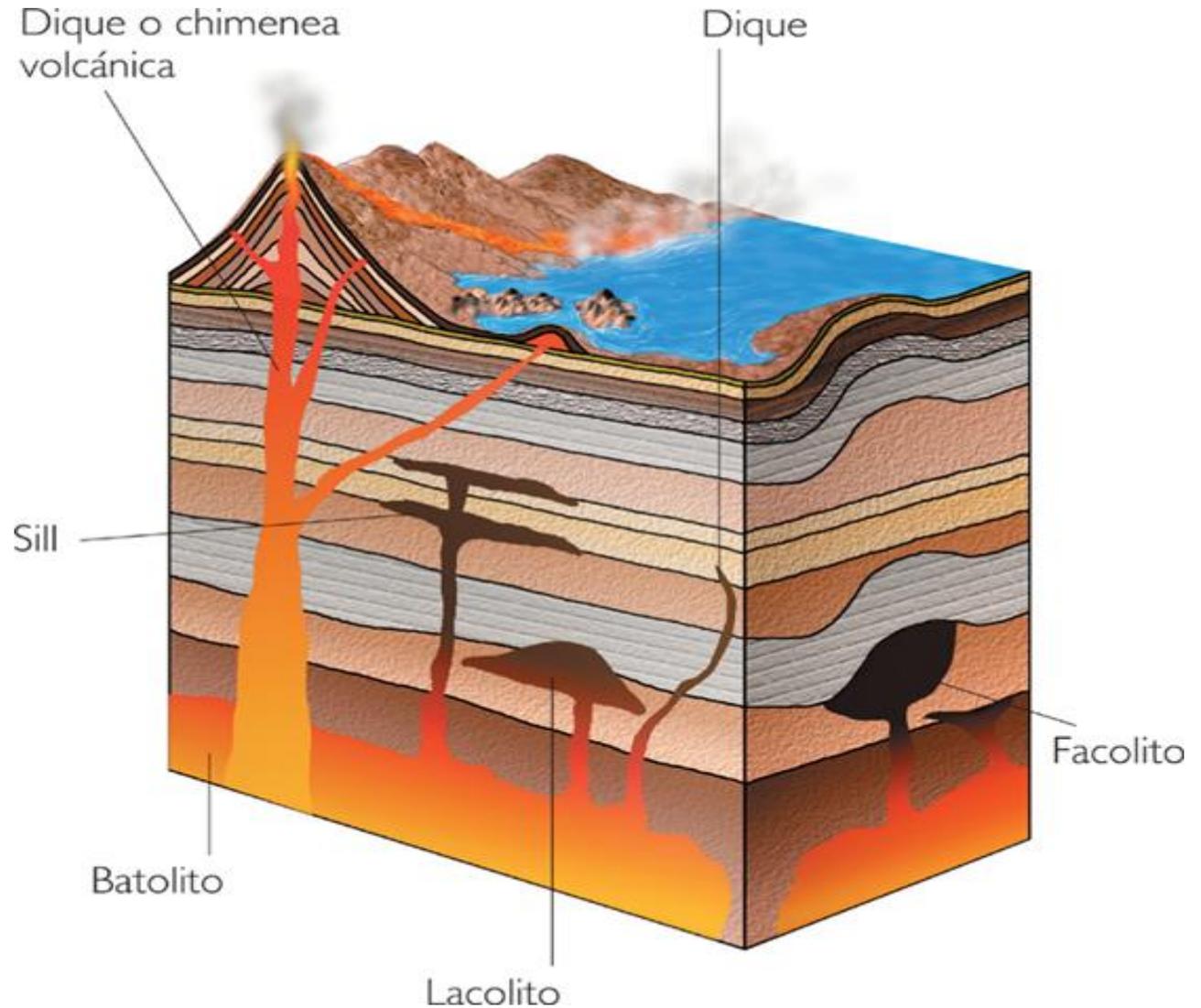




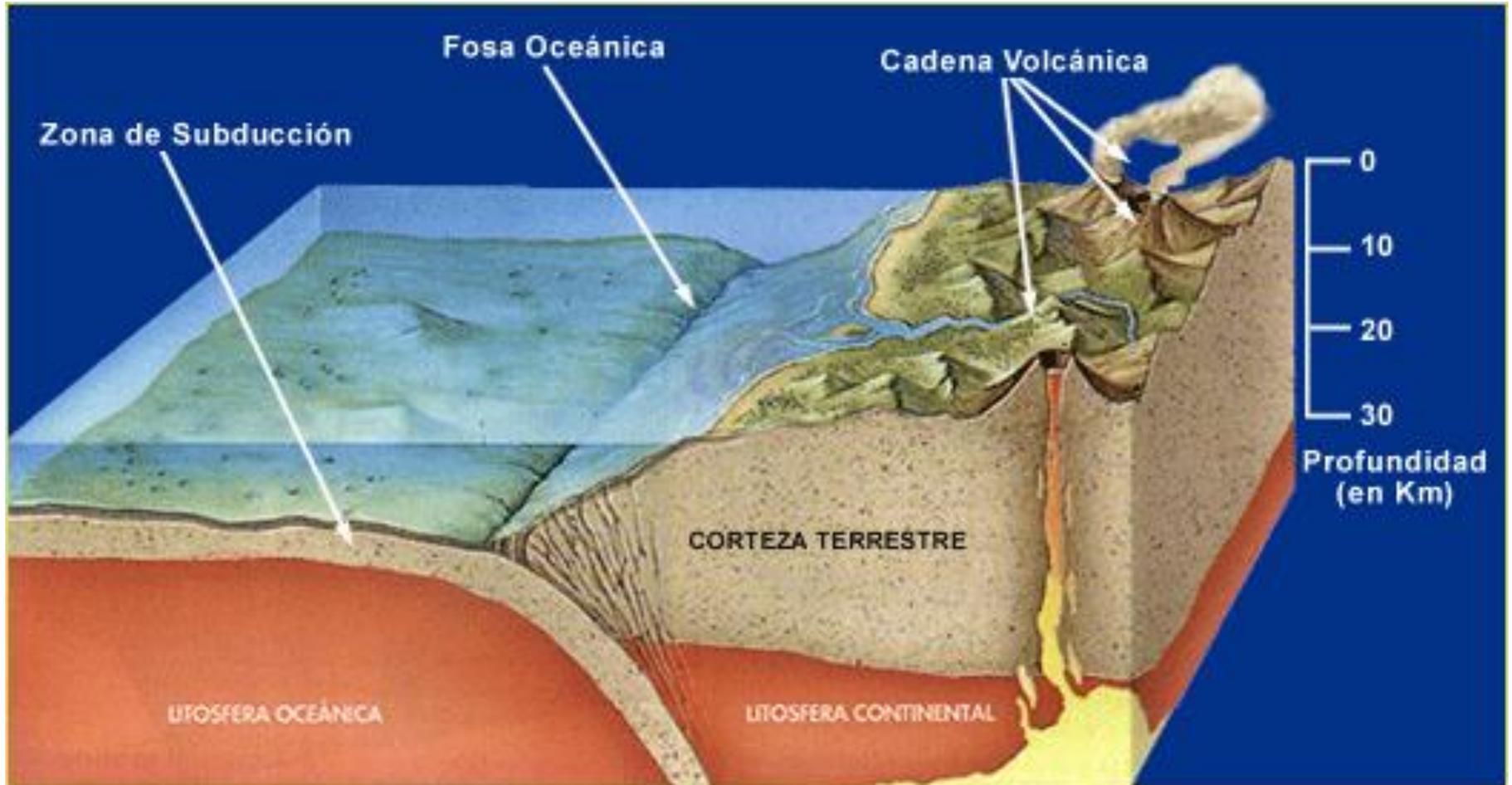
# PROCESOS GEOLÓGICOS

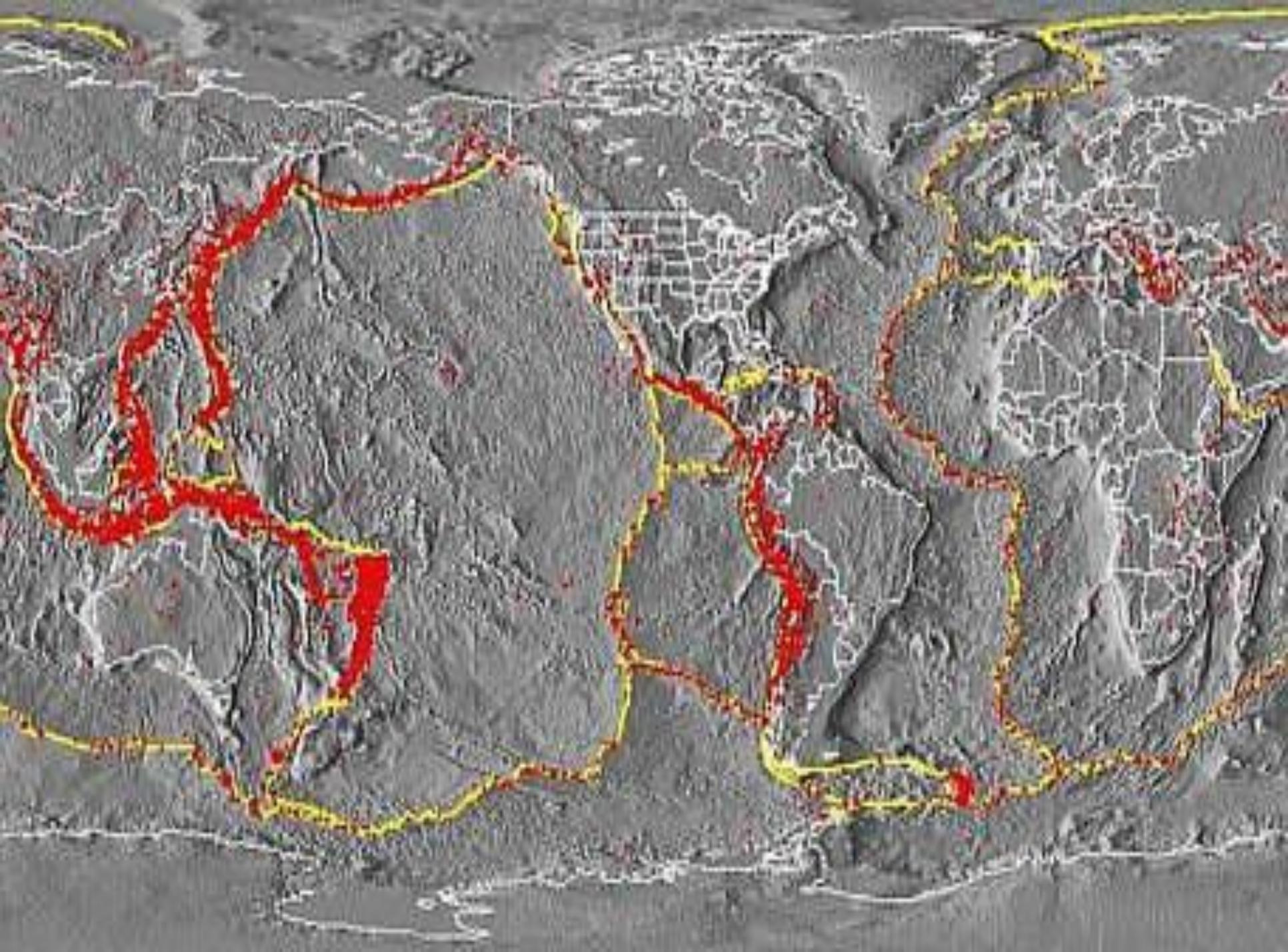
## Procesos Ígneos

1. Plutonismo
2. Volcanismo



# PROCESOS GEOLÓGICOS





## Mapa geotectónico

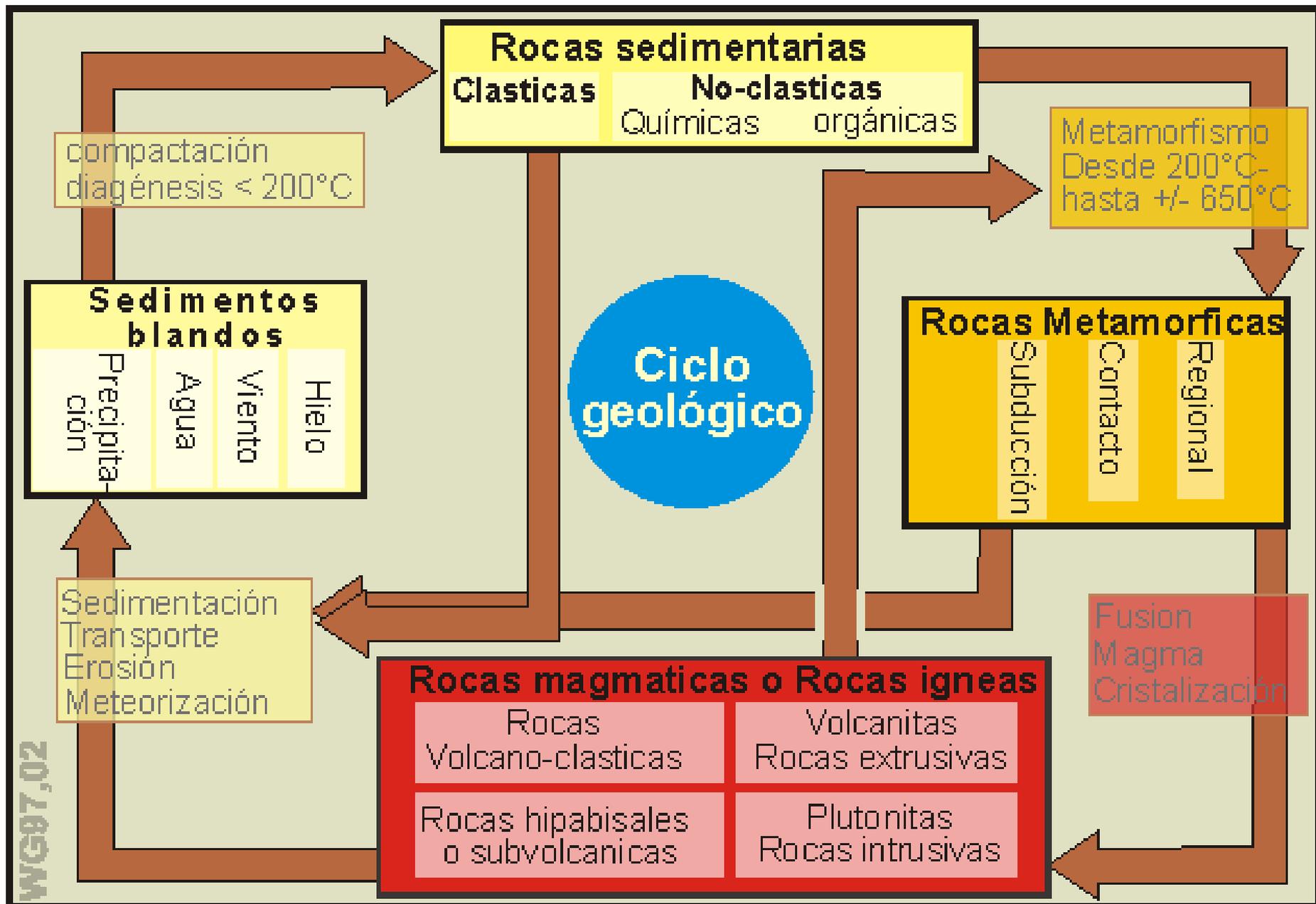


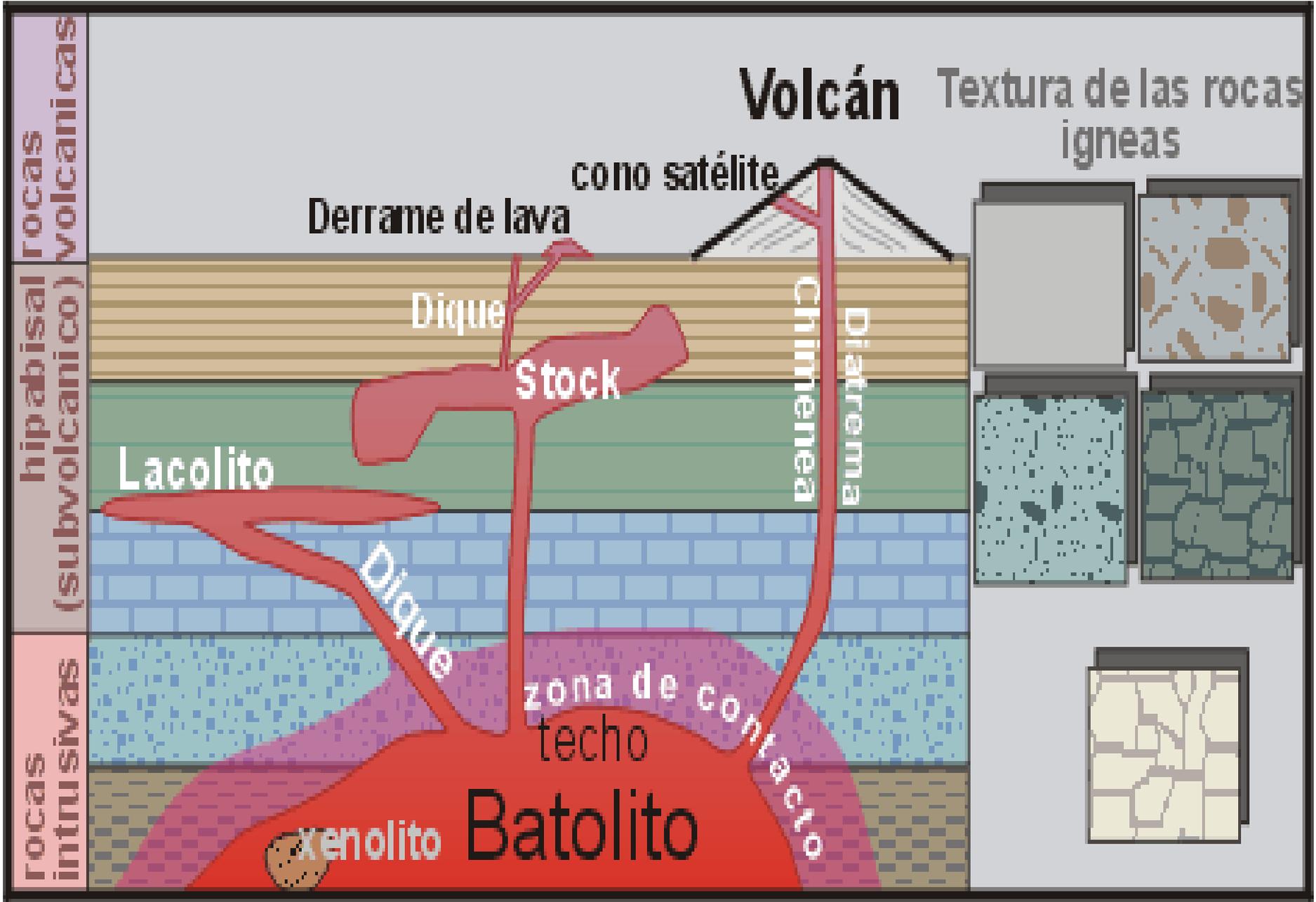
## Mapa Geotectónico

simplificado según WILSON (1989)

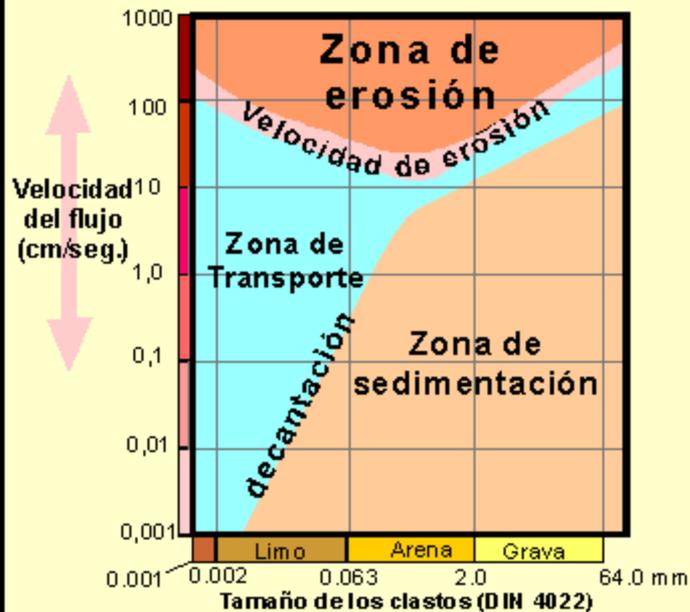
### Leyenda

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



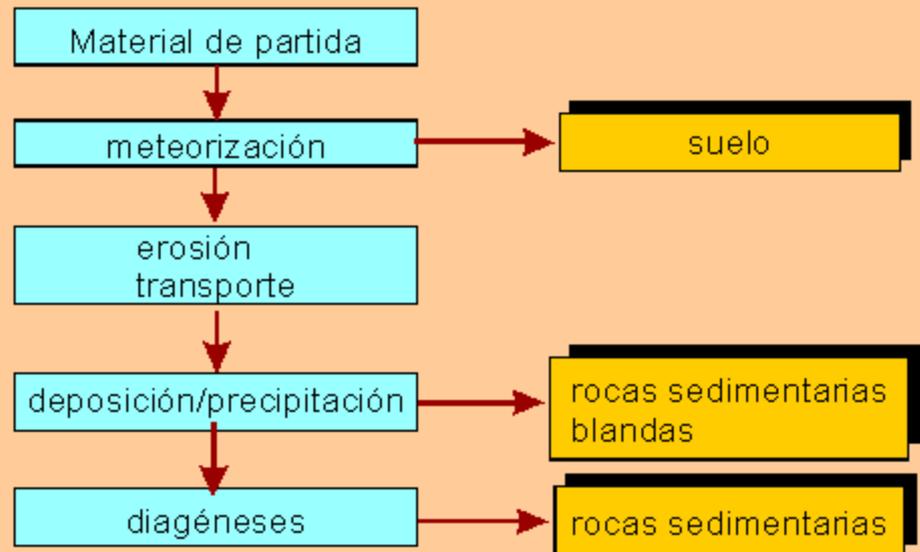


## Erosión-Transporte-Sedimentación



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

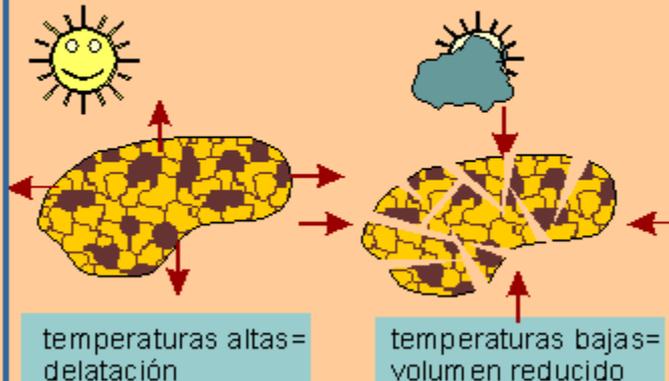
## Formación de las rocas sedimentarias



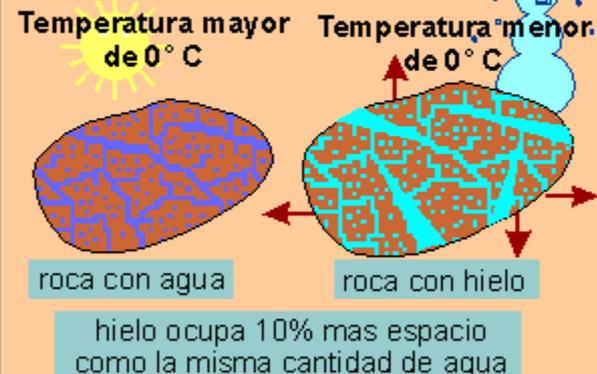
WG98 /Sedim01.cdr

## Meteorización mecánica

### Cambio de la temperatura



### Meteorización por helada



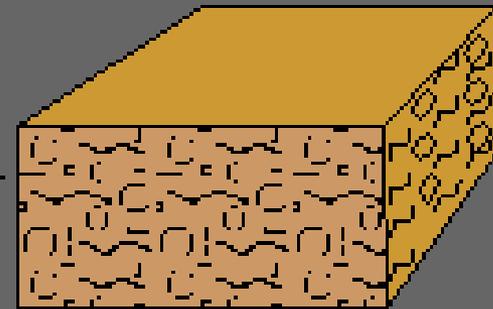
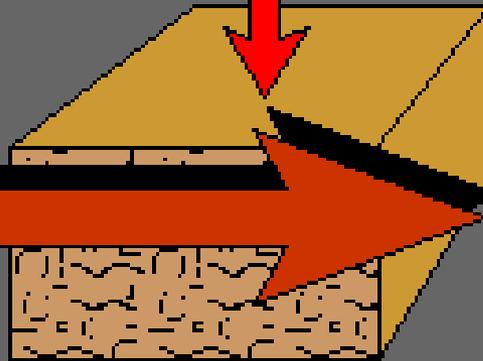
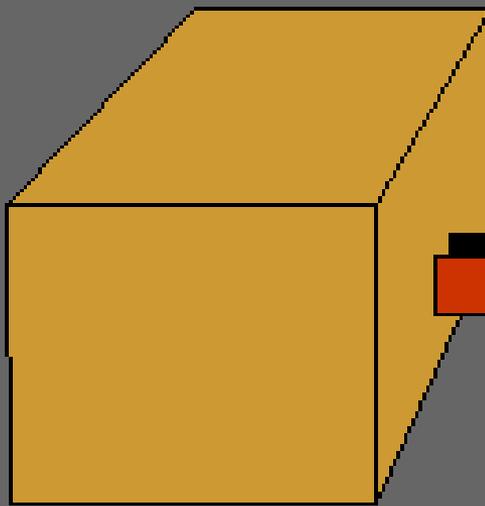
WG98/sedim02.cdr

# Metamorfismo

**Educto**

**Metamorfosis**

**Roca metamorfica**

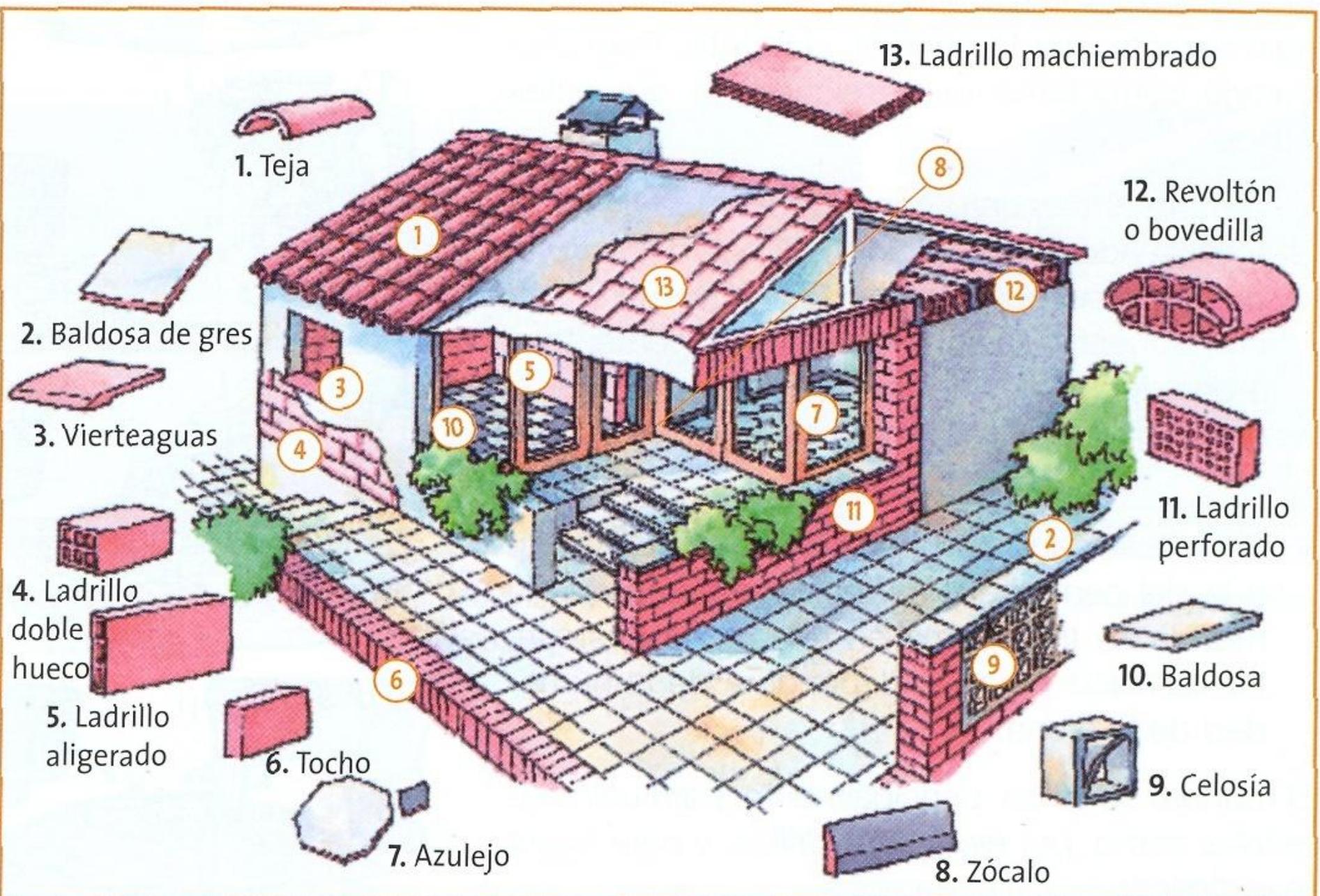


**Roca**  
-sedimentaria  
-ígnea  
-metamórfica

**Temperatura**  
**Presión**

**Gneis**  
**Marmol**  
**Esquisto**  
**Filita**  
**Meta-**

WG 99 /  
Metam04.cdr



1. Teja

2. Baldosa de gres

3. Vierteaguas

4. Ladrillo doble hueco

5. Ladrillo aligerado

6. Tocho

7. Azulejo

13. Ladrillo machiembrado

12. Revoltón o bovedilla

11. Ladrillo perforado

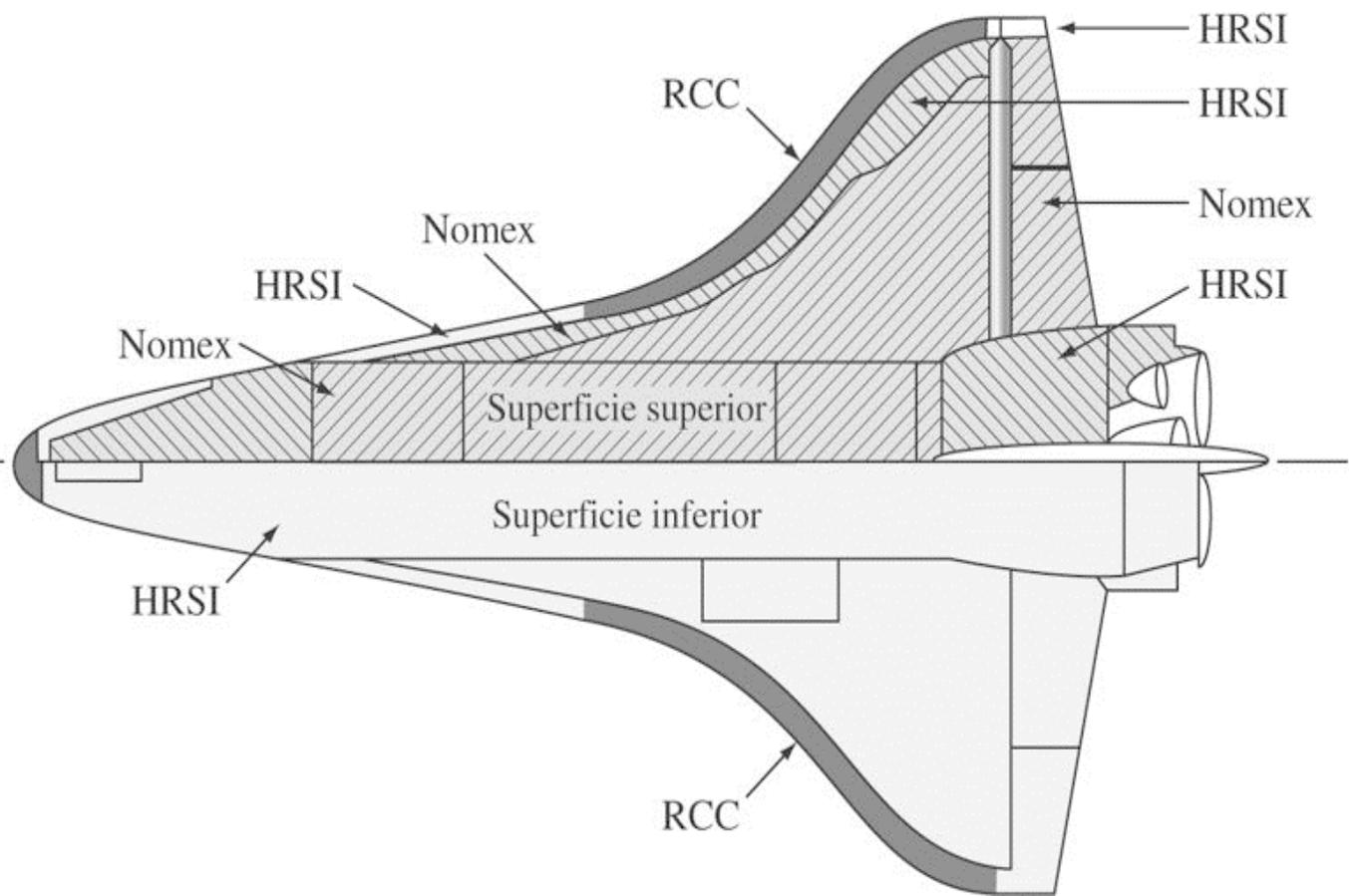
10. Baldosa

9. Celosía

8. Zócalo

# Thermal protection system inspections from ISS - Shuttle nose

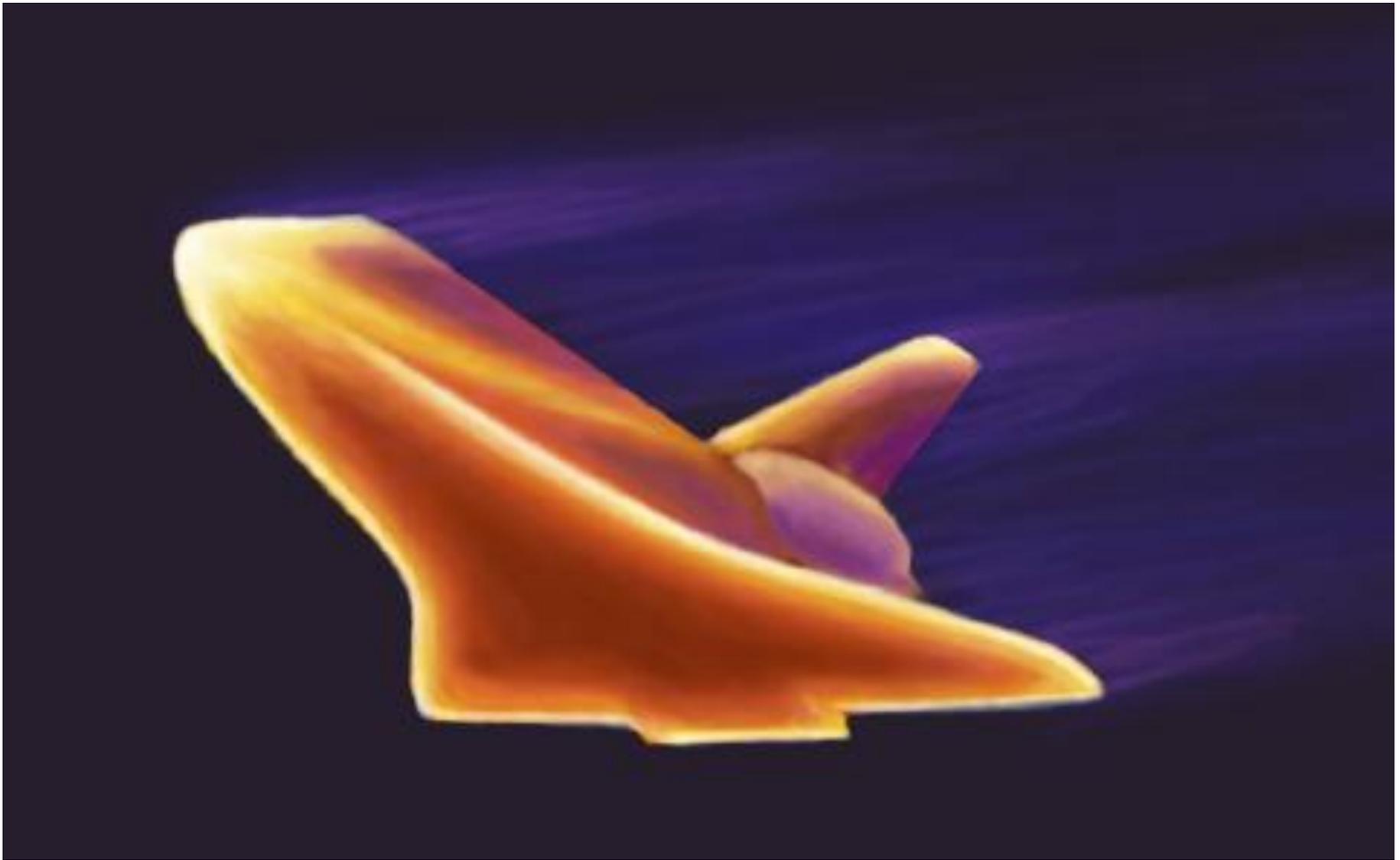




	Carbono-carbono reforzado
	Aislamiento superficial reutilizable para alta temperatura (HRSI)
	Aislamiento superficial reutilizable para baja temperatura
	Filtro Nomex recubierto
	Metal o vidrio

**Sistemas de protección térmica del transbordador espacial.**

(

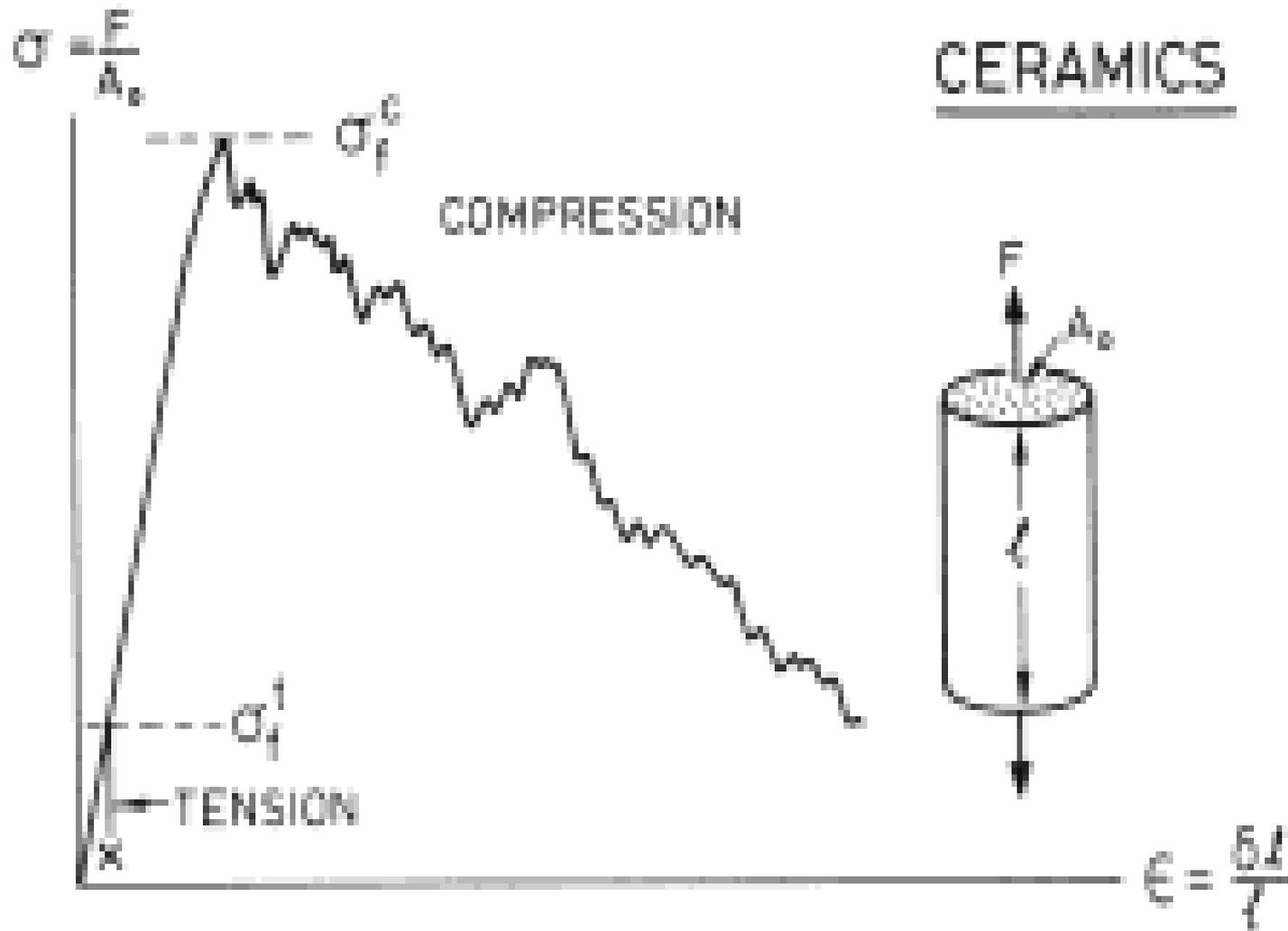


**Simulación de la parte externa del Transbordador Espacial mientras alcanza temperaturas mayores a los 1.500 °C durante la re-entrada a la atmósfera terrestre**

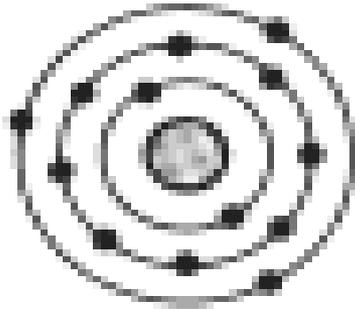
# Materiales cerámicos

- **Silicatos:**  $\text{SiO}_2$
- **Carbonatos:**  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{MgCO}_3$
- **Circones:**  $\text{ZrO}_2$
- **Alúmina:**  $\text{Al}_2\text{O}_3$
- **Carburos:**  $\text{TiC}$ ,  $\text{WC}$ ,  $\text{SiC}$ ,  $\text{HfC}$

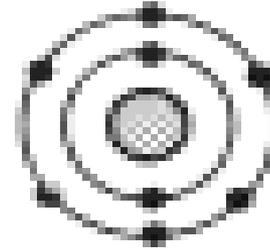
# Curva de carga-deformación de los cerámicos



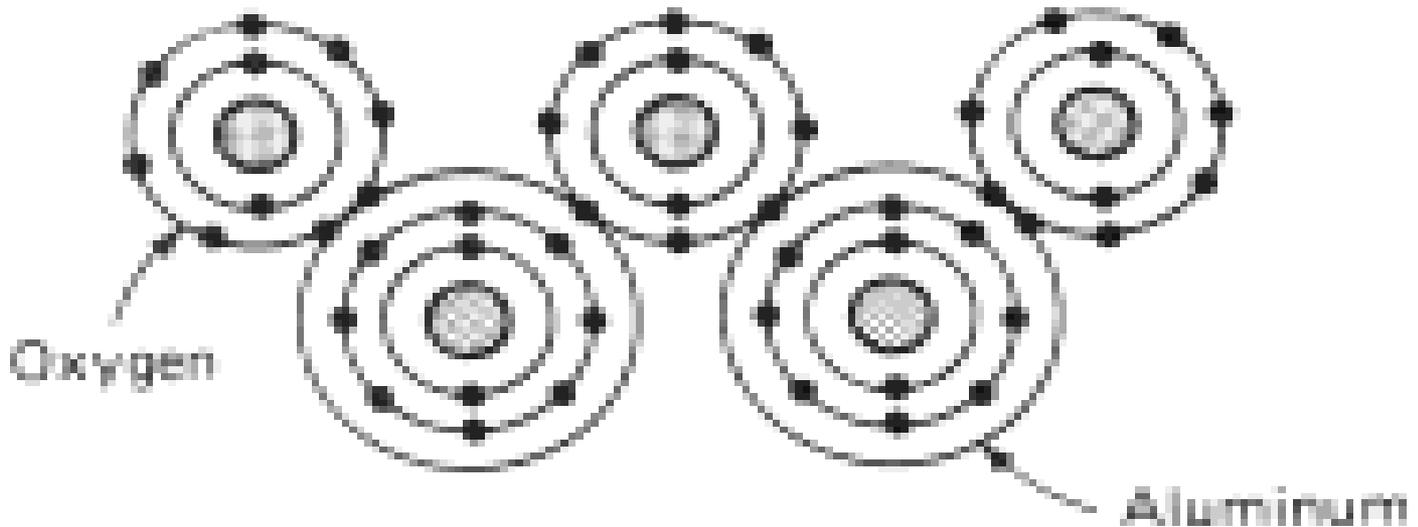
# Unión iónica/covalente de la alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )



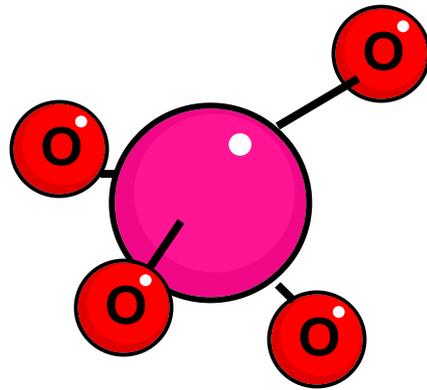
Aluminum atom  
valence of 3



Oxygen atom  
valence of 6

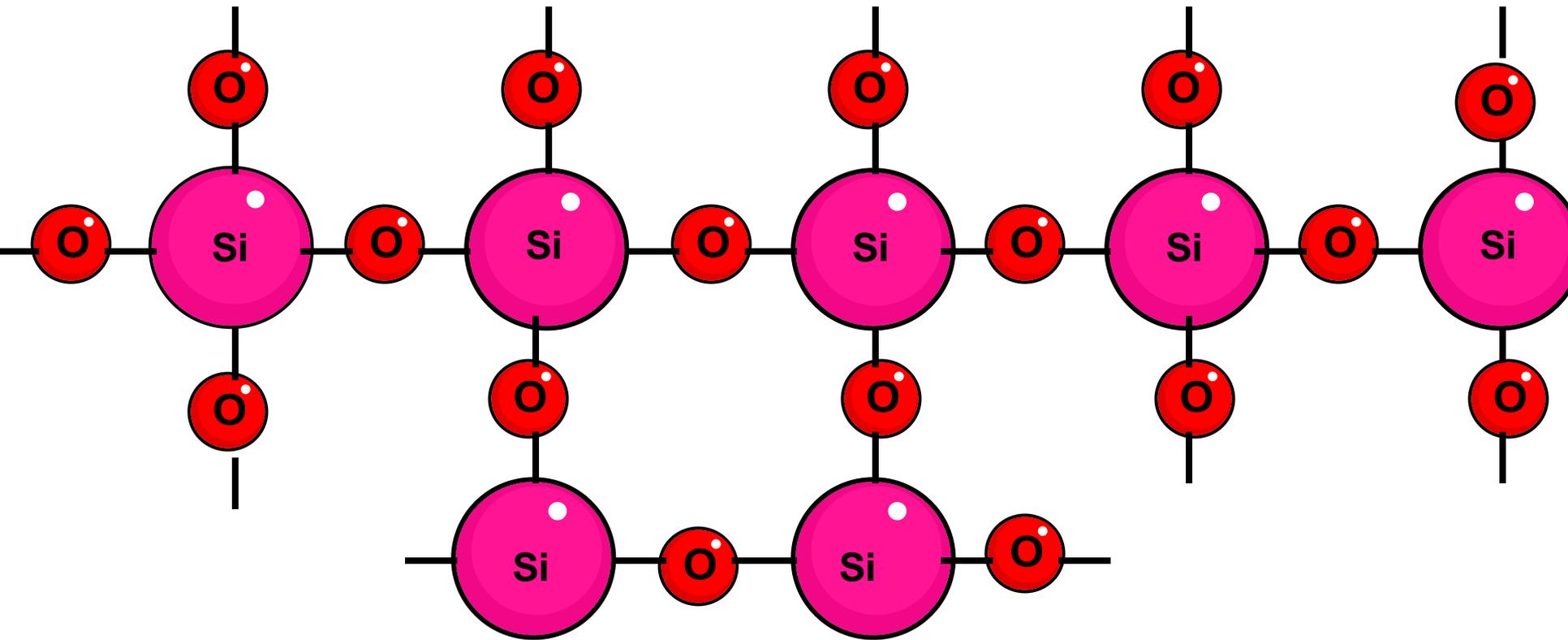


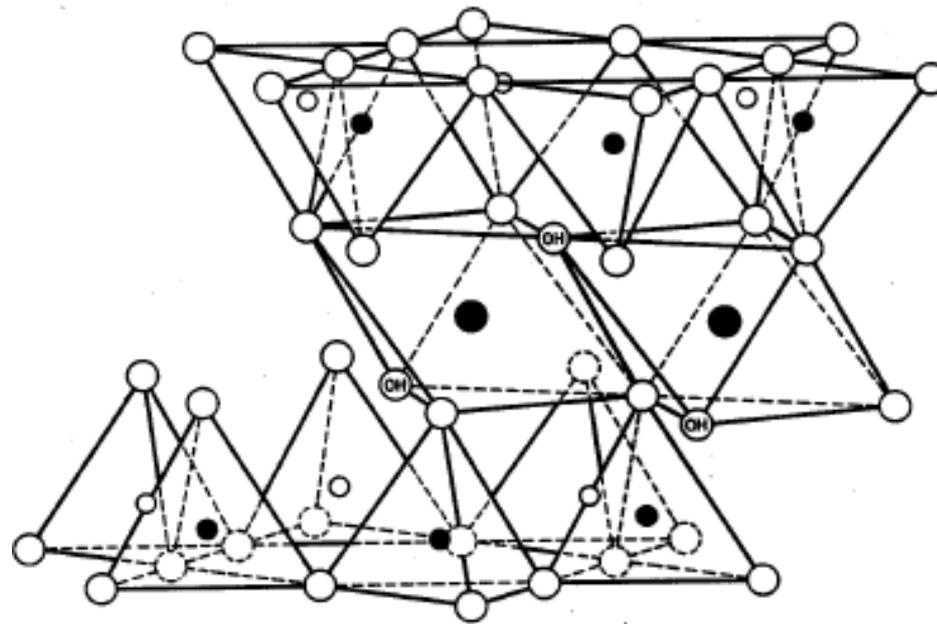
# Silicatos



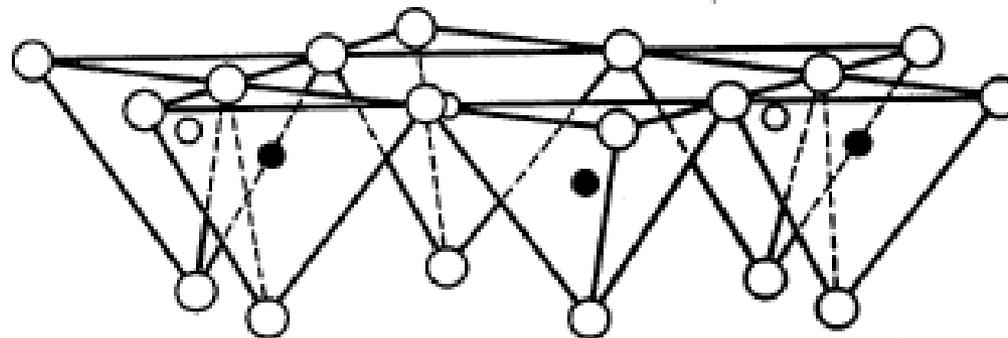
**El sistema cristalográfico de la sílice en tetrahedral**

# Silicatos





Exchangeable cations  
 $nH_2O$



- Oxygens      ○H 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)

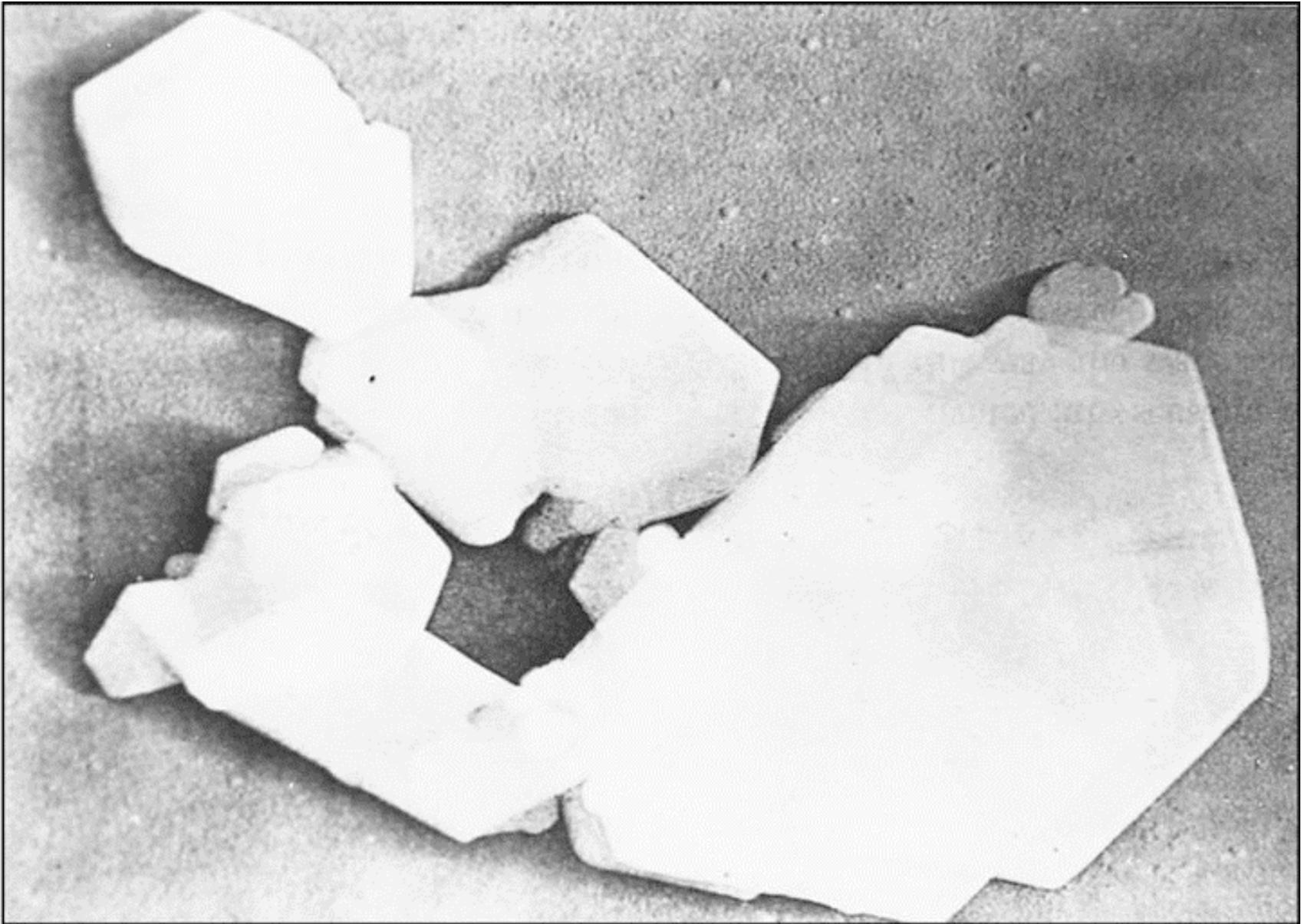
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot (\text{TiO}, \text{CoO}, \text{Cu}_2\text{O} \dots)$   
(arcillas comunes)

- **Cerámicos refractarios:**

-Ácidos:  $\text{SiO}_2$

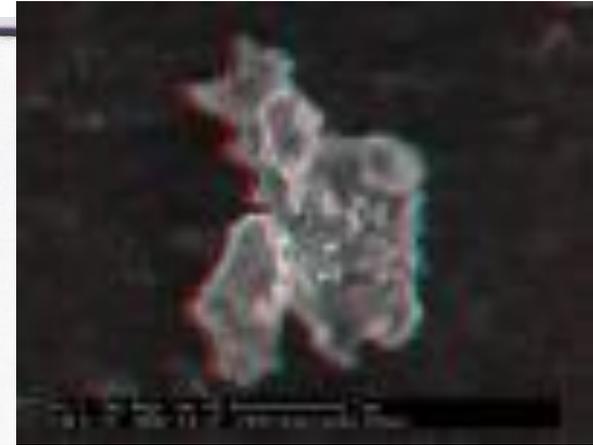
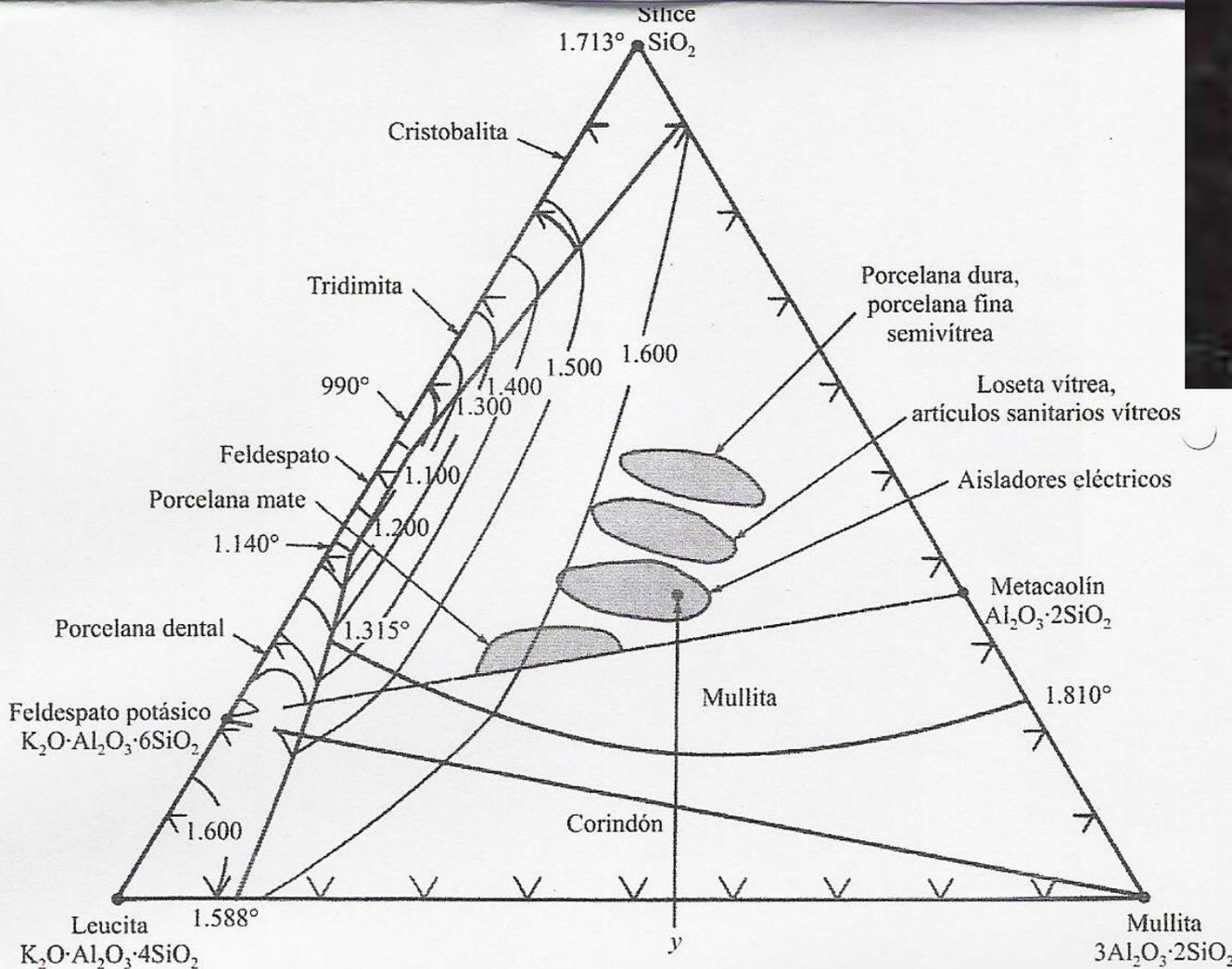
-Básicos:  $\text{MgO}$

-Neutros:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$



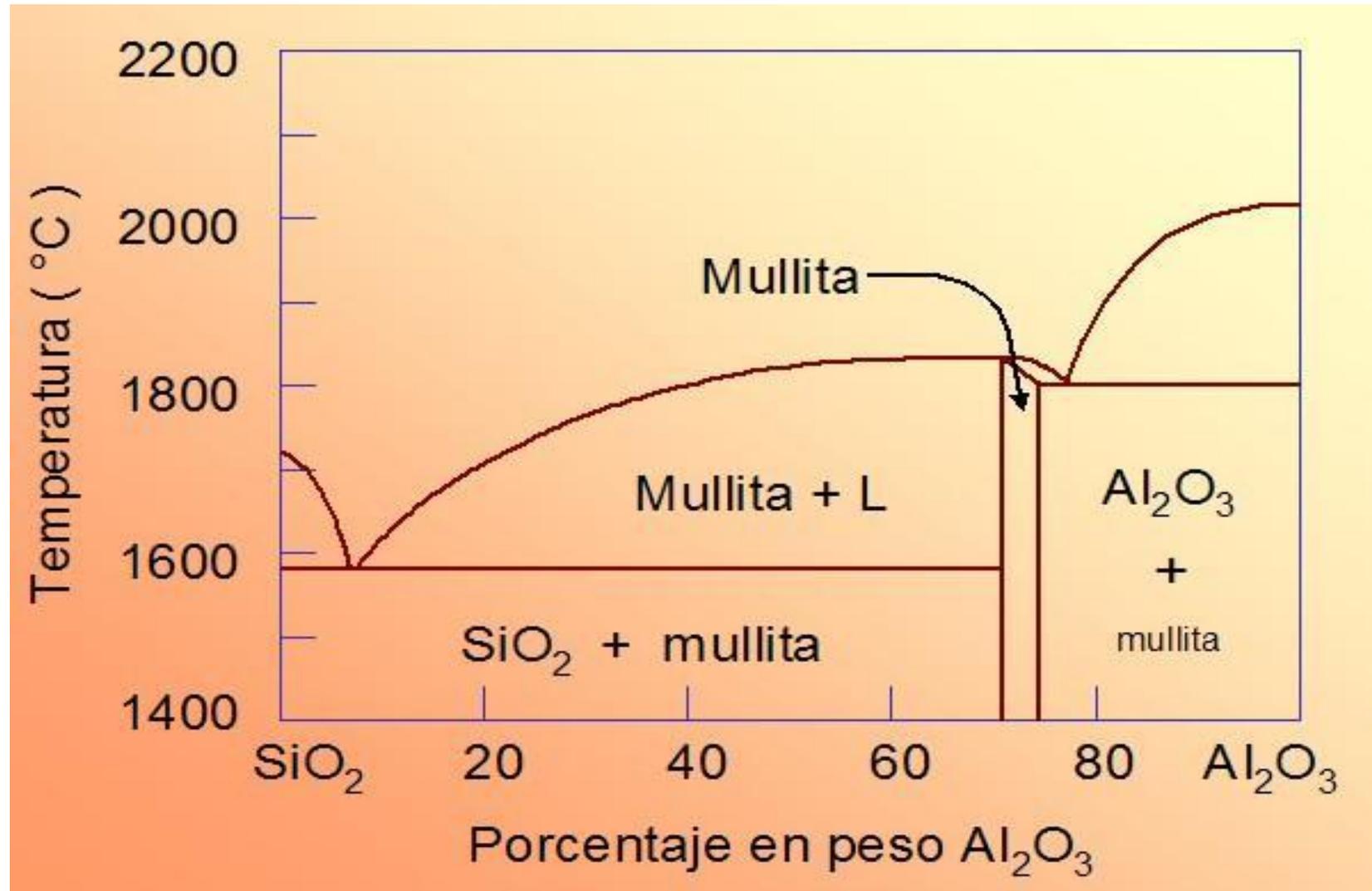
**Cristales de caolinita como se observan al microscopio electrónico (técnica de réplica).**

# Diagrama trifásico de las arcillas

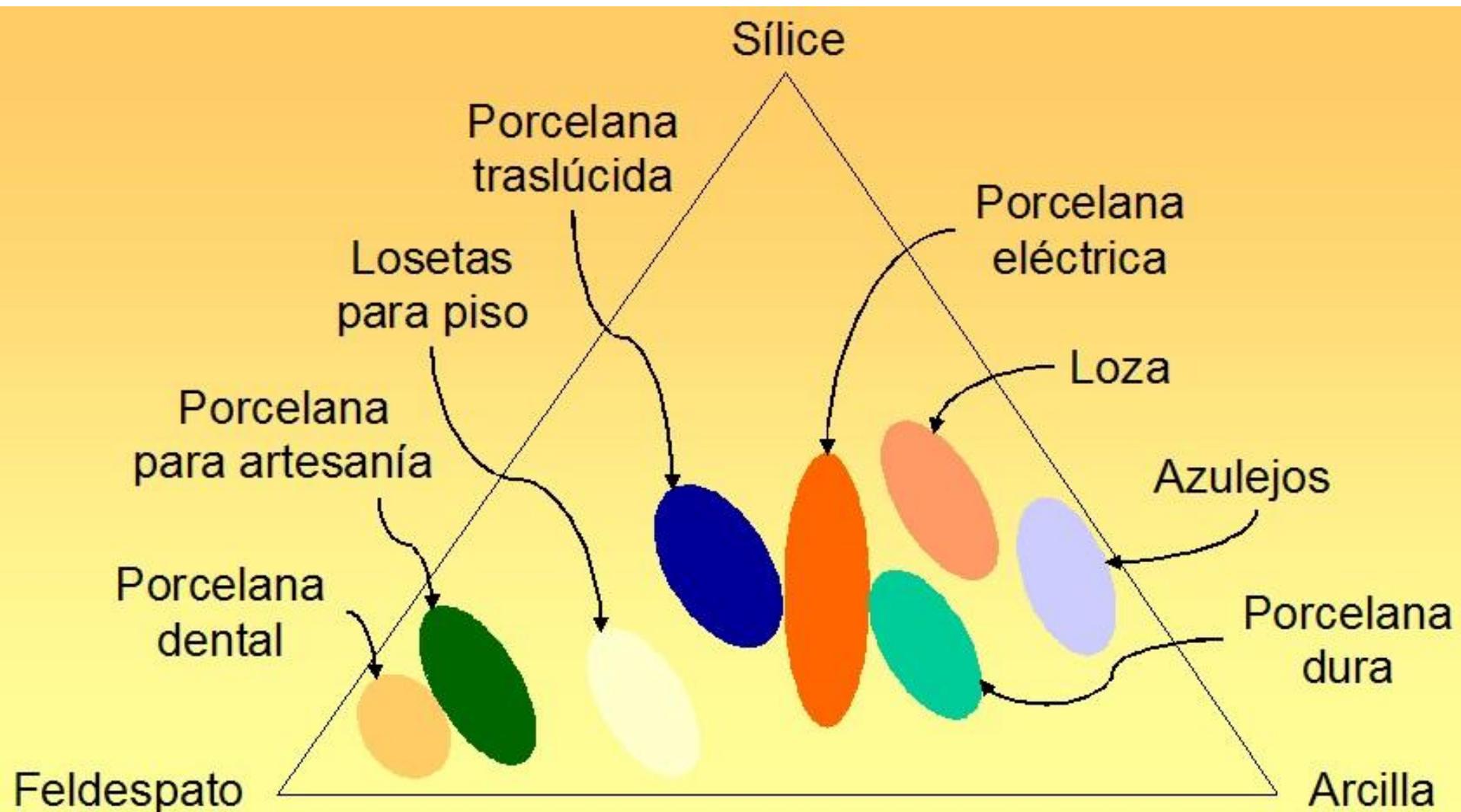


Partícula de arcilla vista al microscopio

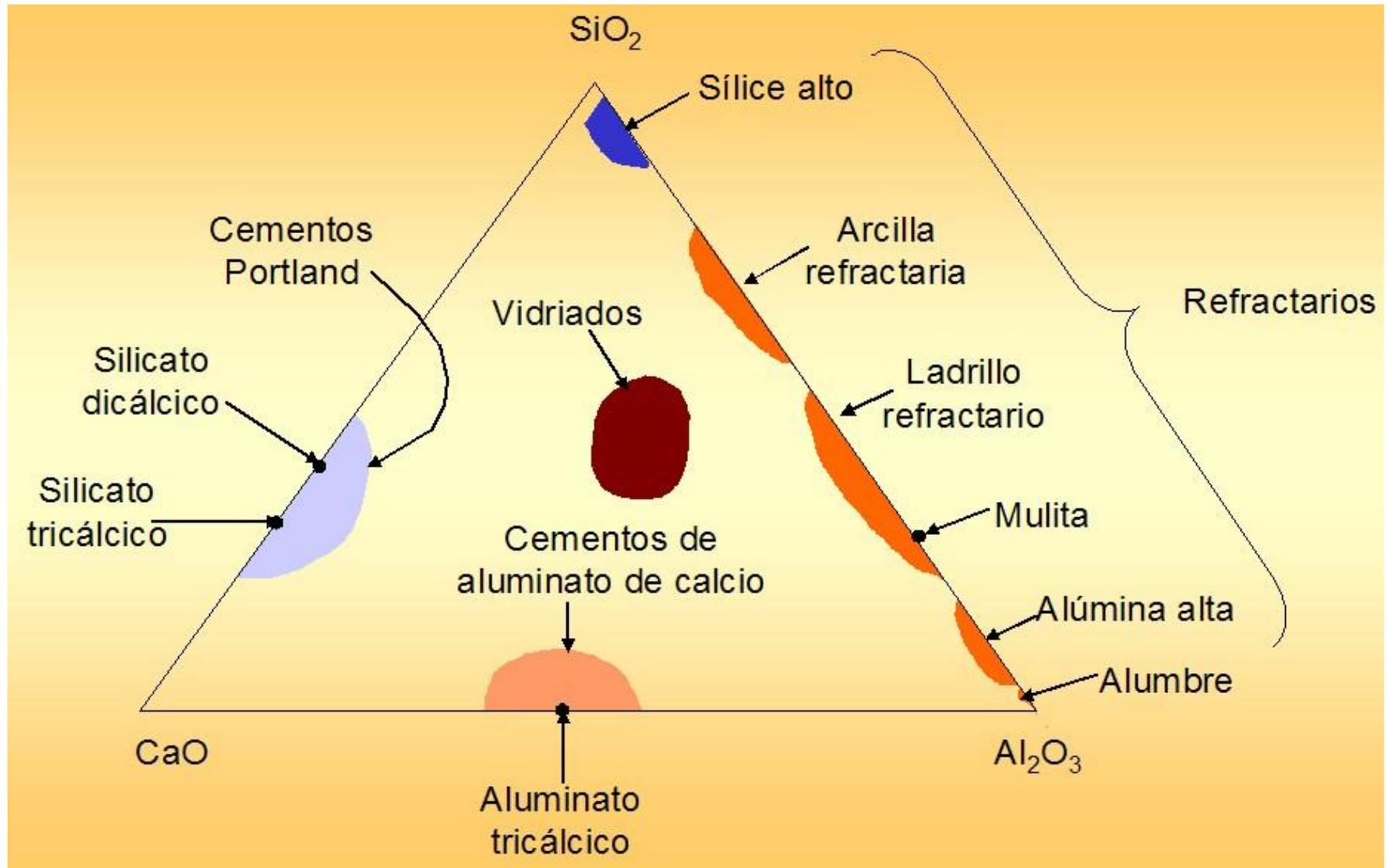
# Diagrama de Fases Binario de Sílice y Alúmina



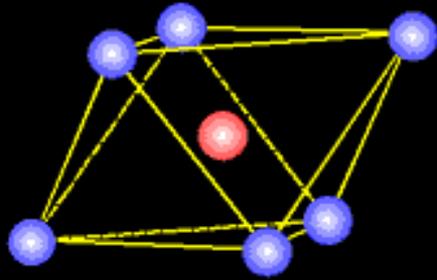
# Diagrama de fase Ternario de Sílice, Arcilla y Feldespato.



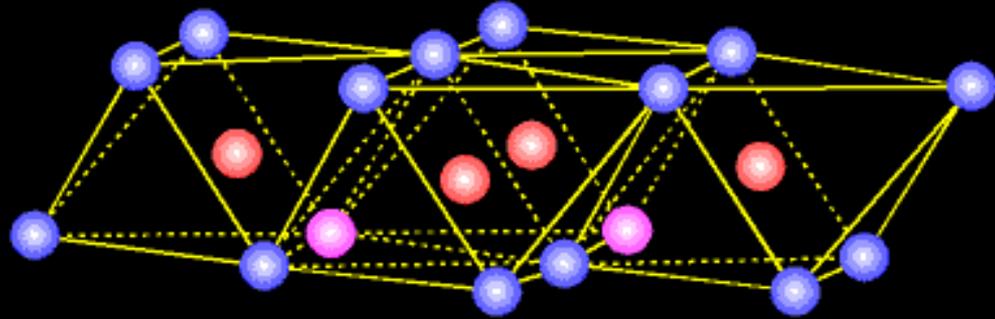
# Diagrama de fase Ternario de Sílice, Arcilla y Oxido de Calcio



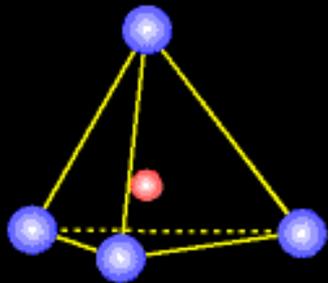
# Estructura <1mm, bases tetrahédricas u octahédricas



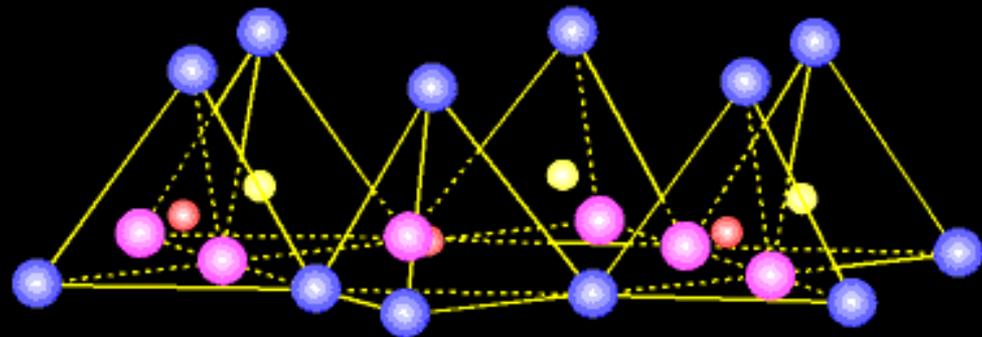
(a)



(b)

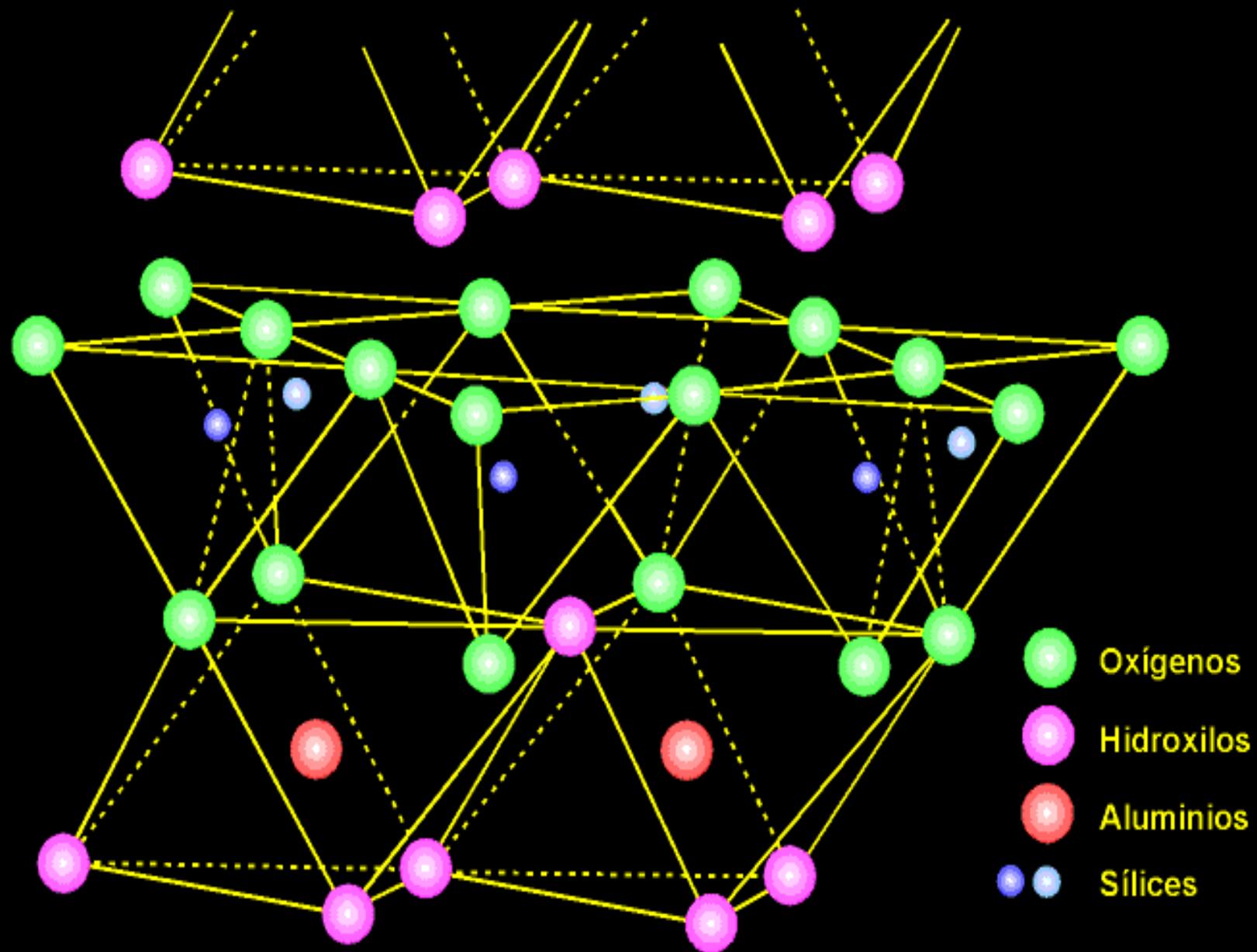


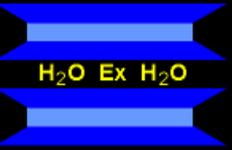
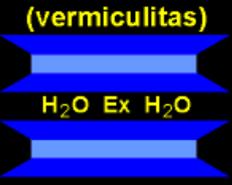
(c)



(d)





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

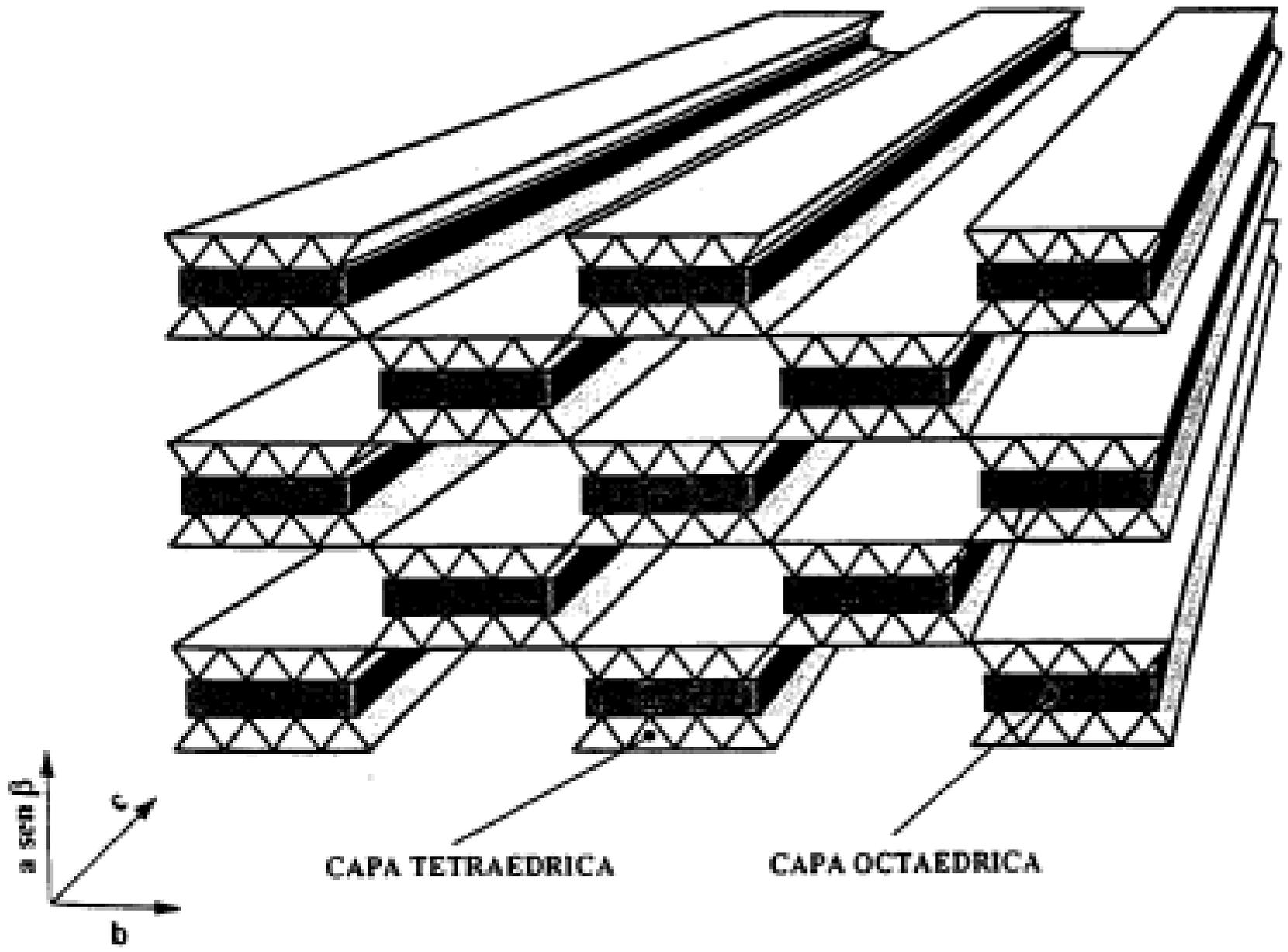
 , < > = capa tetrahédrica

 , [ ] = capa octahédrica

 = brucita

Ex = cationes intercambiables

**Mg(OH)<sub>2</sub>**



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

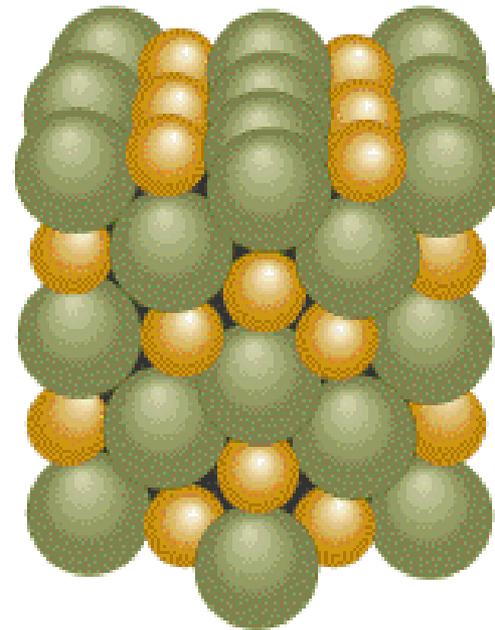
Material polar, se vuelve plástico al combinarlo con  $\text{H}_2\text{O}$ ,  
unidos mediante un enlace iónico covalente  
en el cual no se produce transmisión de electrones y es un  
mal conductor eléctrico.



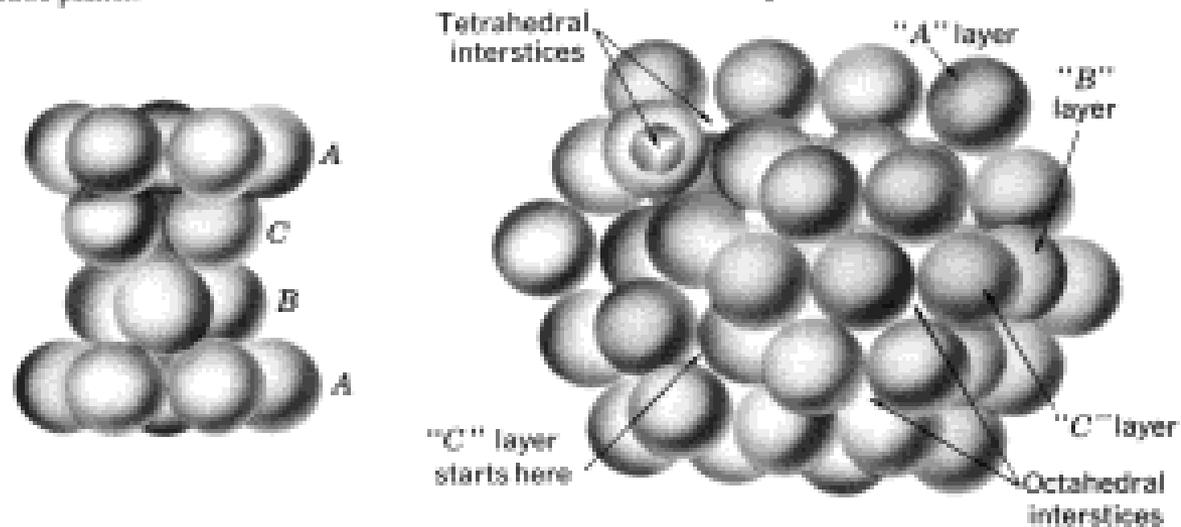
Si



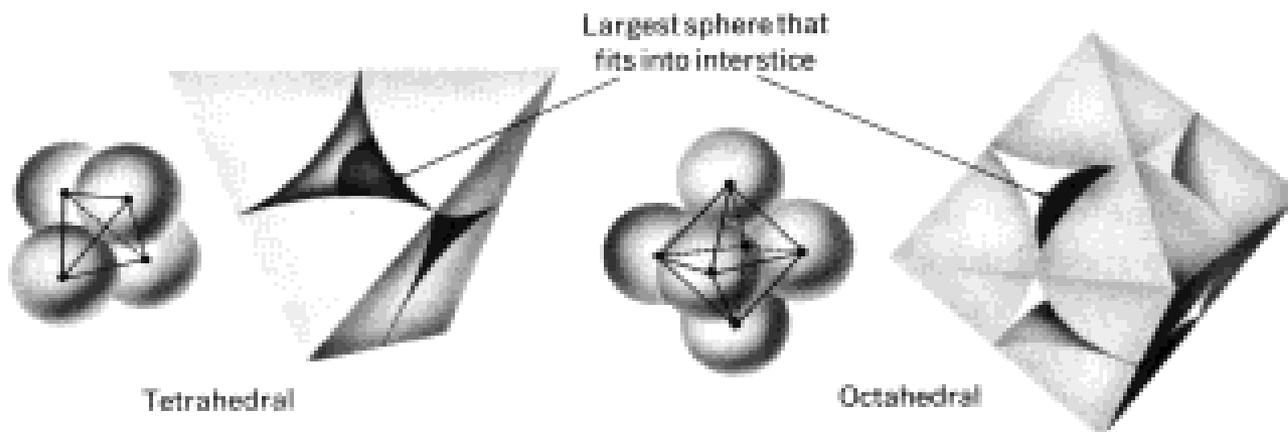
Al



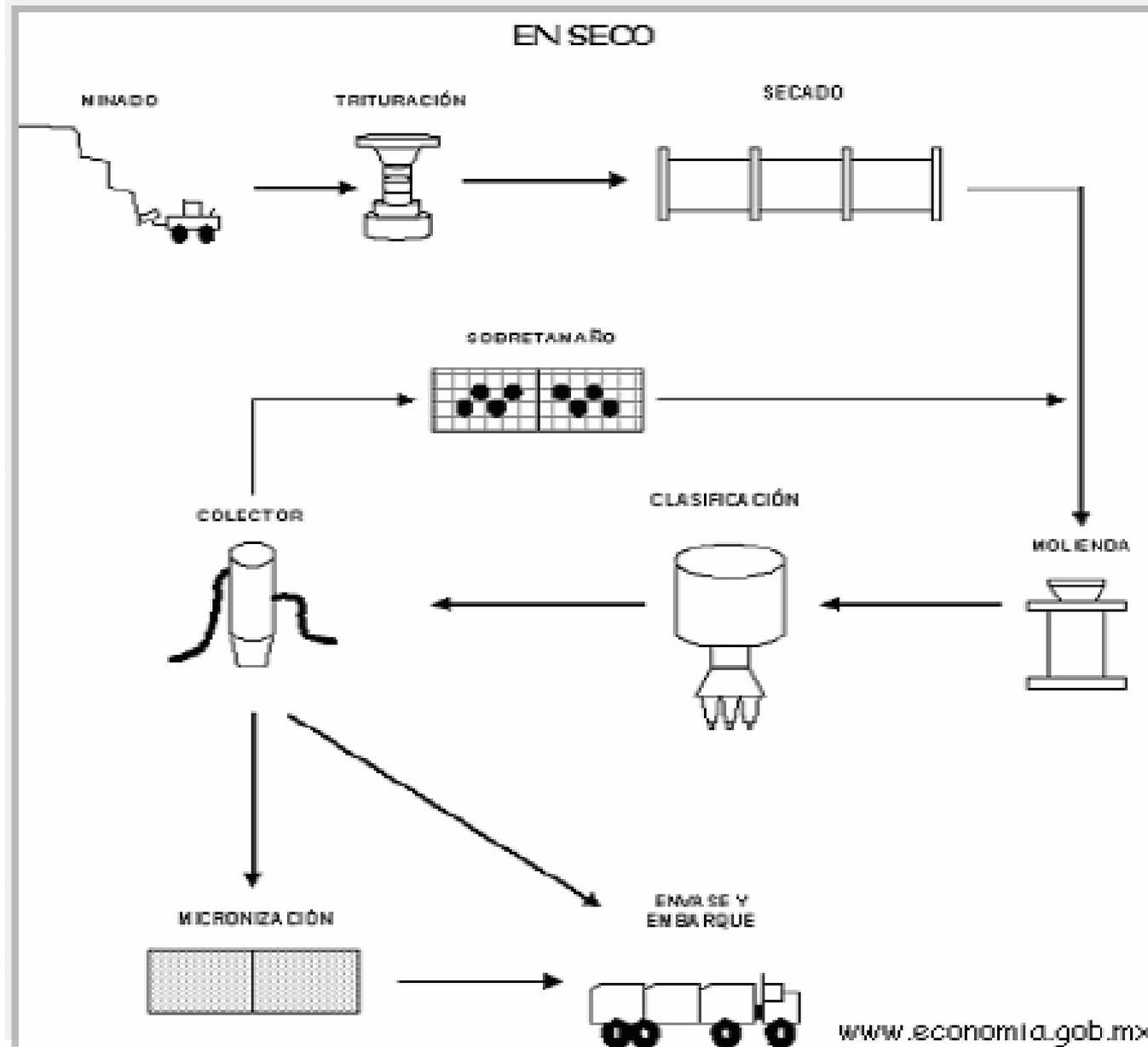
# Estructuras cristalinas de los cerámicos



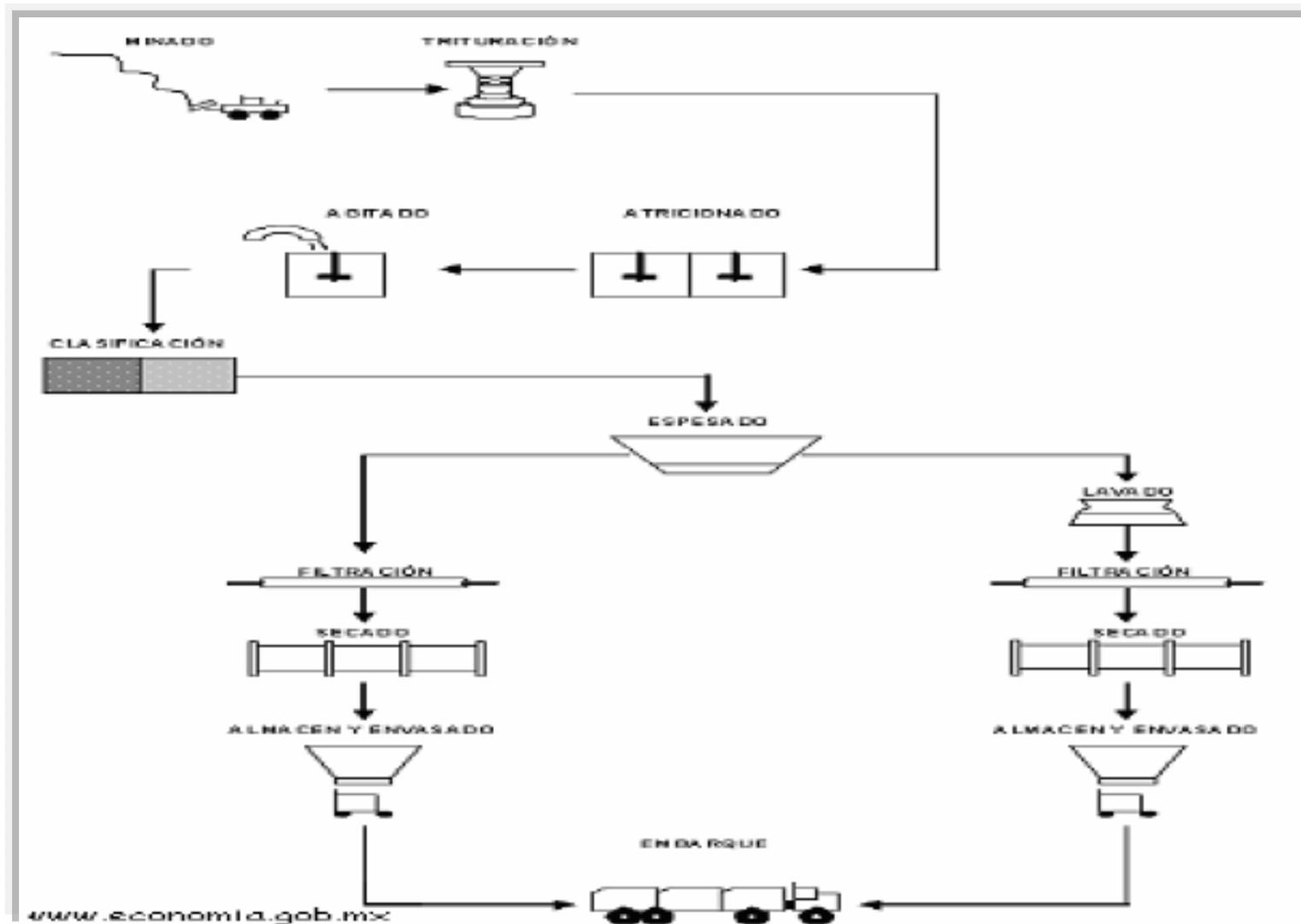
(c) Two views of the *ABCABC* ... stacking of octahedral planes.



# OBTECIÓN DE CAOLIN PROCESADO EN SECO

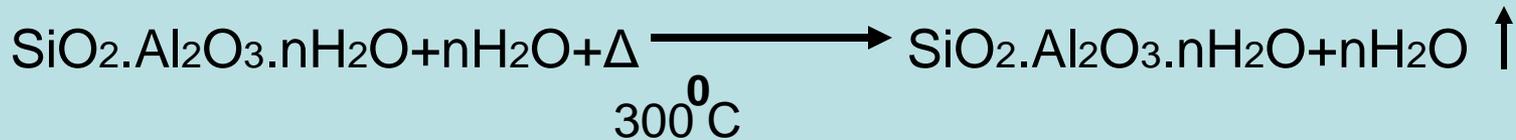
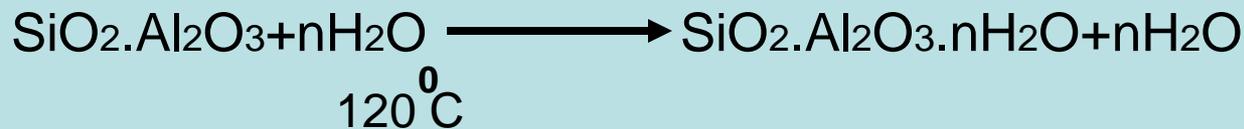


# OBTENCION DE CAOLIN POR EL PROCESADO EN HÚMEDO

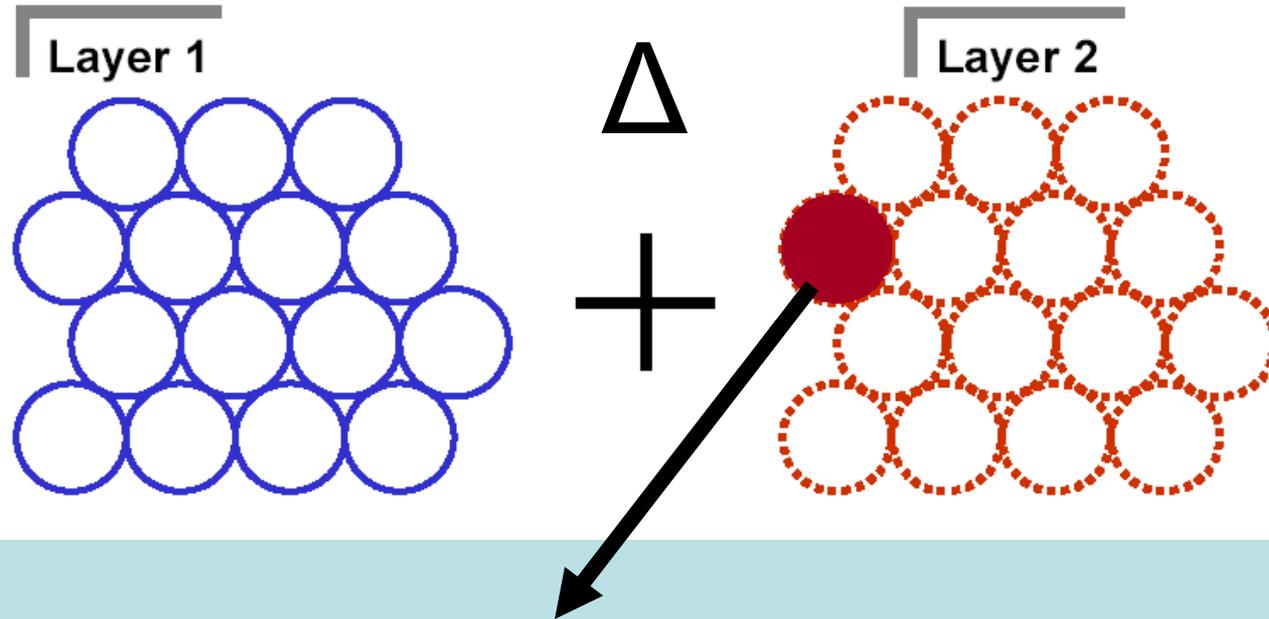


# Sinterización o Cocimiento

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

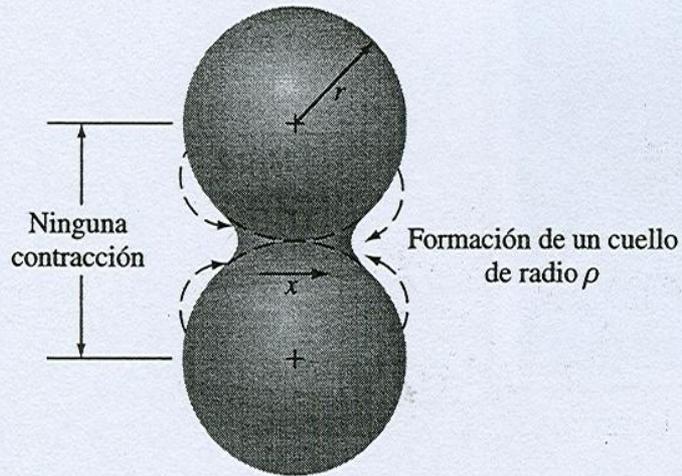


# Sinterización



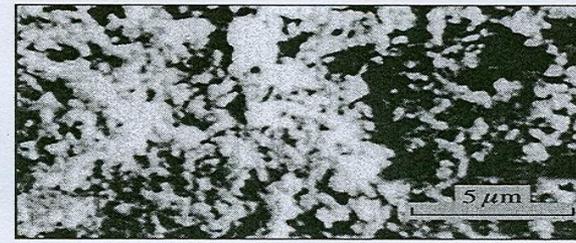
Cuando se alcanza la temperatura de sinterización, 700-1200 $^{\circ}$ C las partículas se unen por el fenómeno de difusión de los átomos.

# 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.)

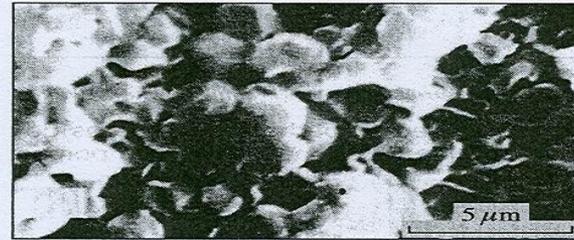
**FIGURA 10.29.** Formación de un cuello durante la sinterización de dos partículas finas. La difusión atómica tiene lugar en la superficie de contacto y alarga el área de contacto para formar el cuello.



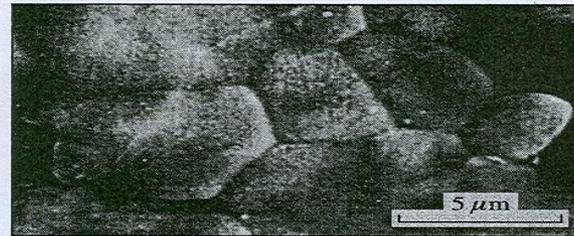
a)



b)



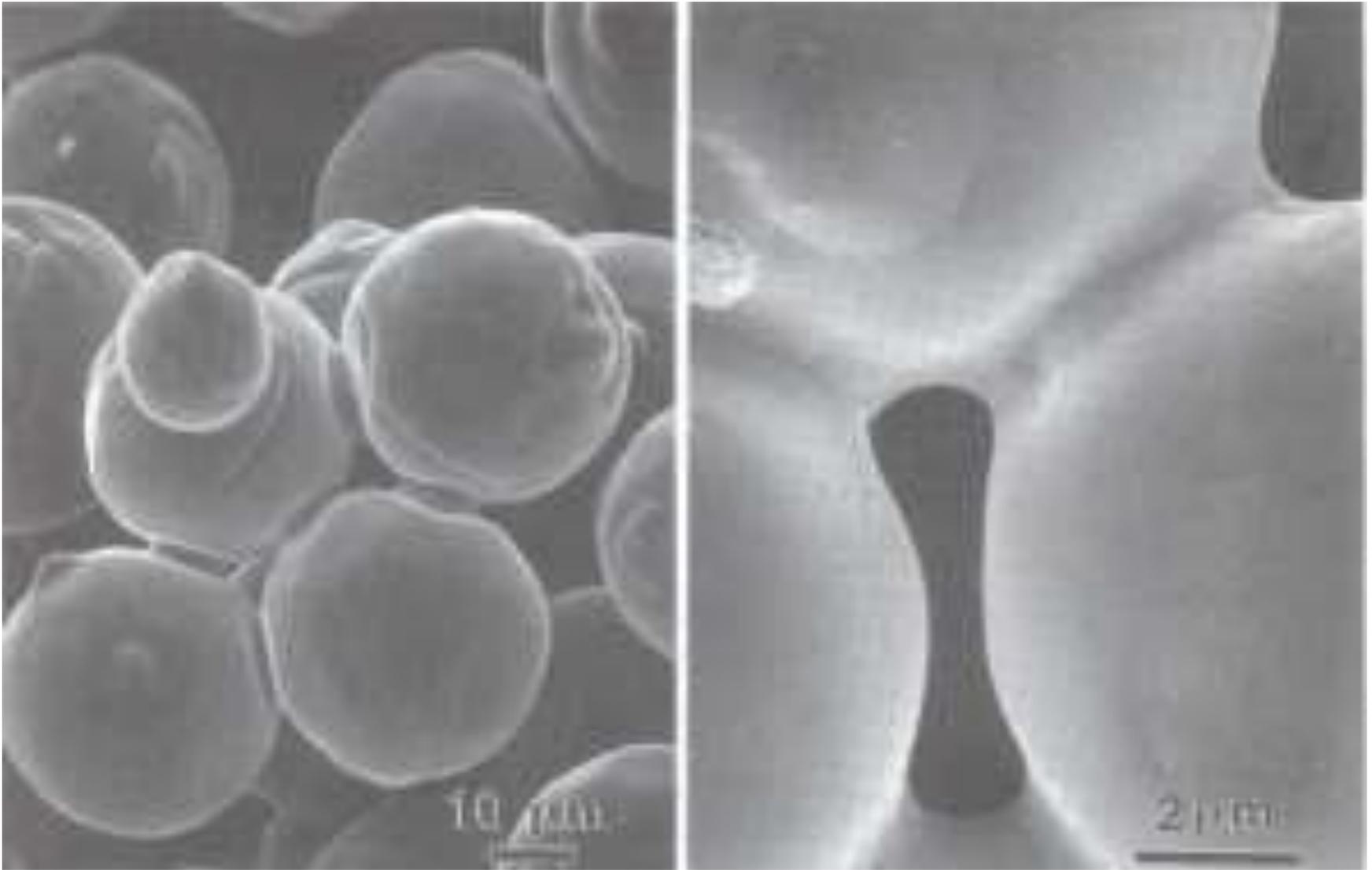
c)



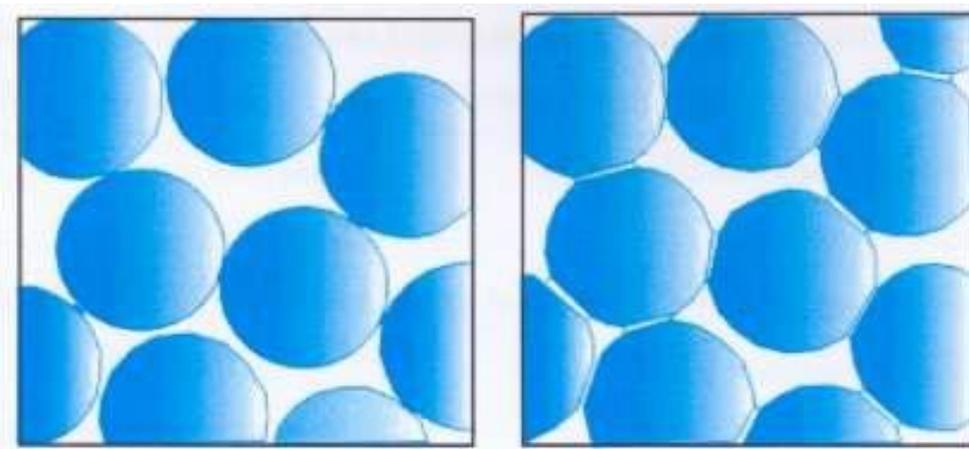
d)

[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).

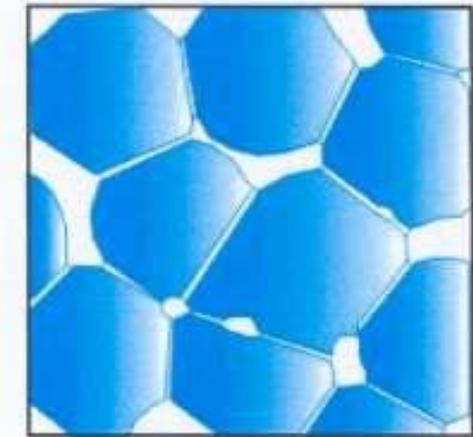


**Formación de cuellos debido a la sinterización.**

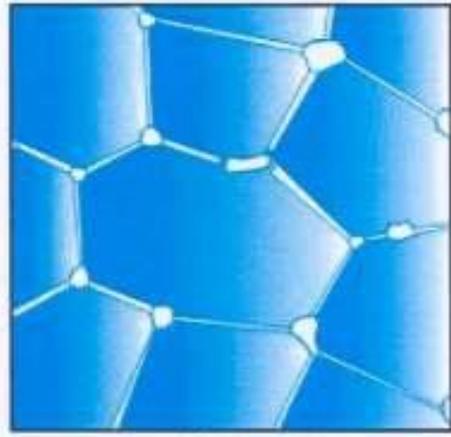


(a)

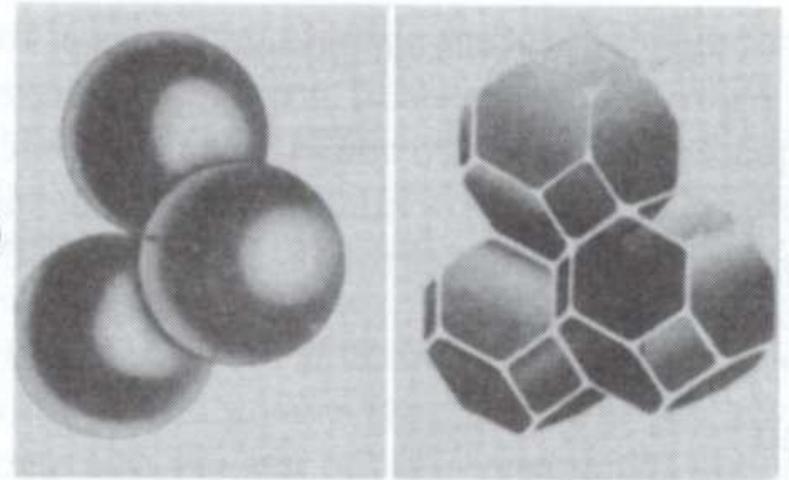
(b)



(c)

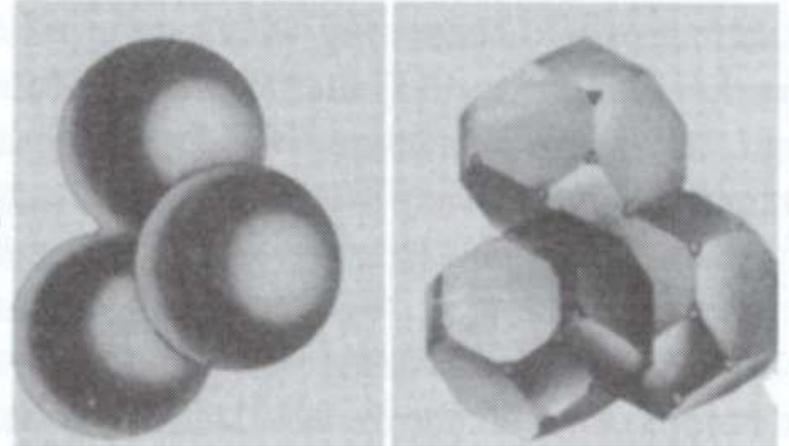


(d)



(a)

(c)

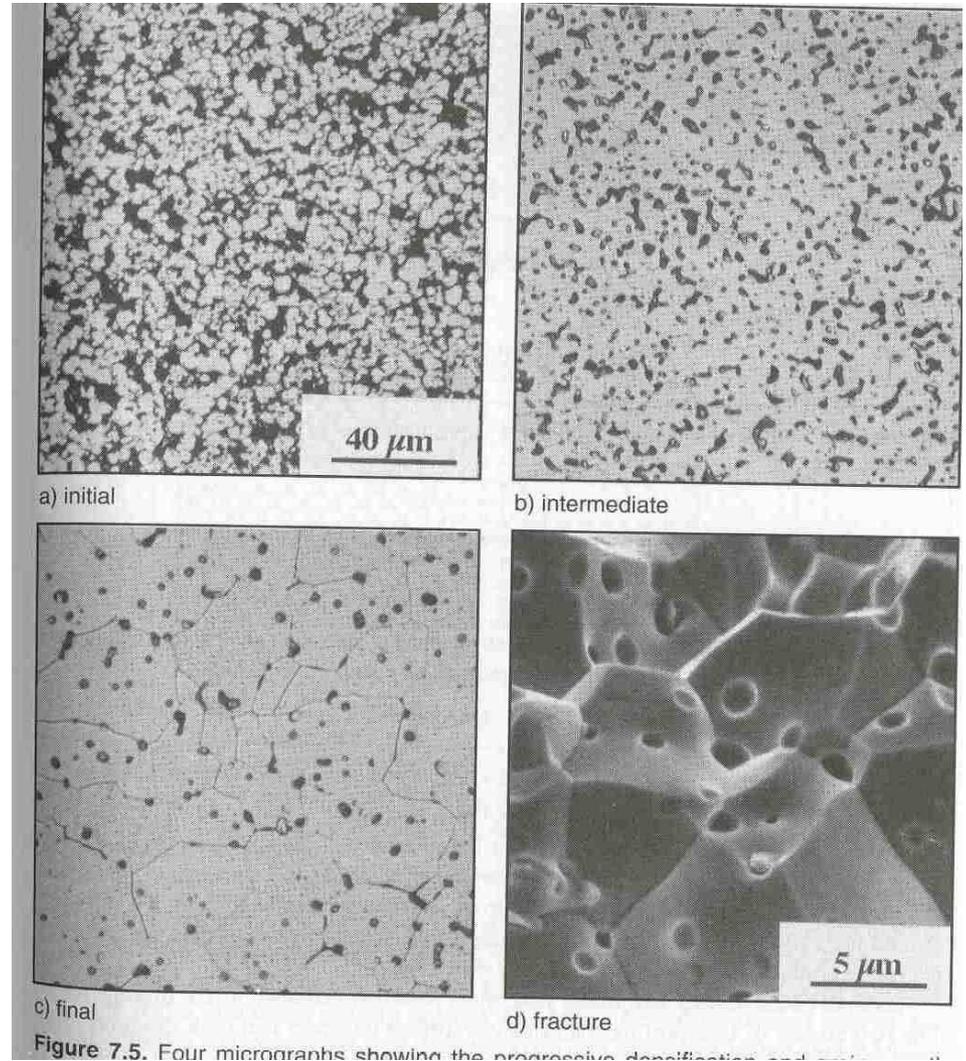
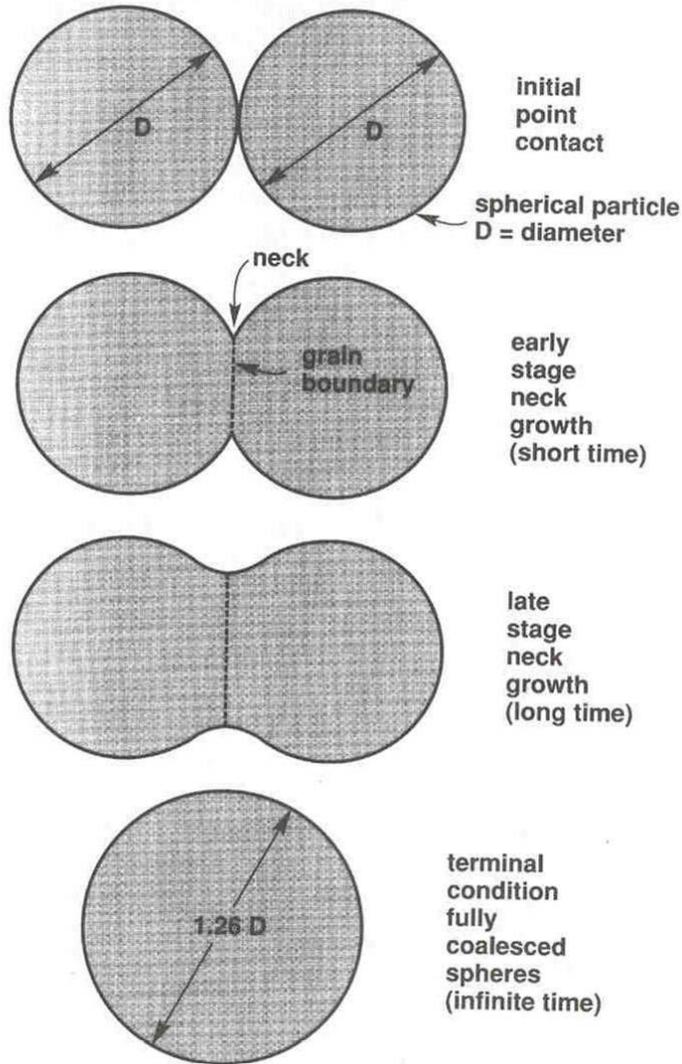


(b)

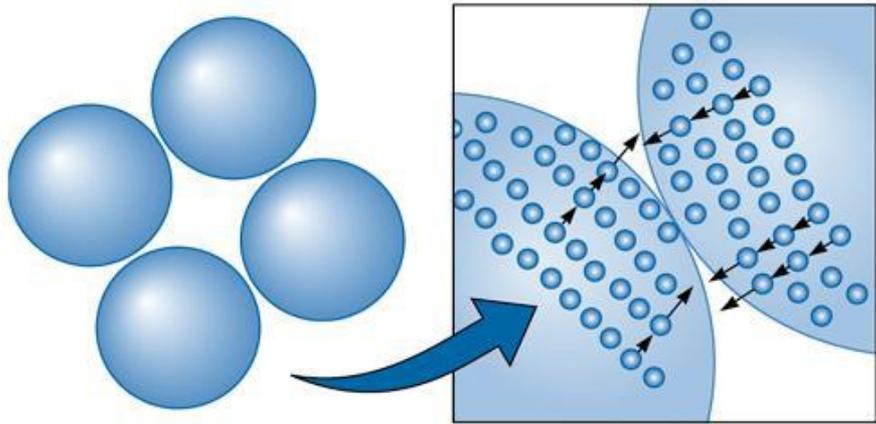
(d)

**Esquemas de las etapas en la sinterización.**

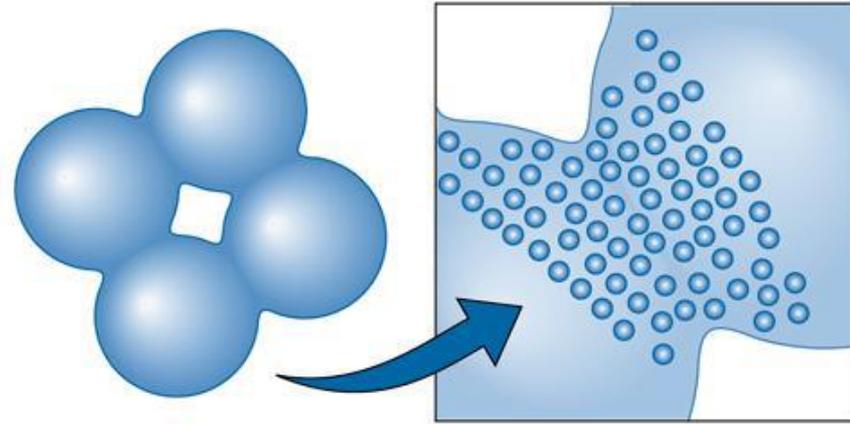
## Two Sphere Sintering Model



**ESTRUCTURA INTERCONECTADA DE POROS INESTABLE AL 92% DENSIDAD TEÓRICA**



Compacted product



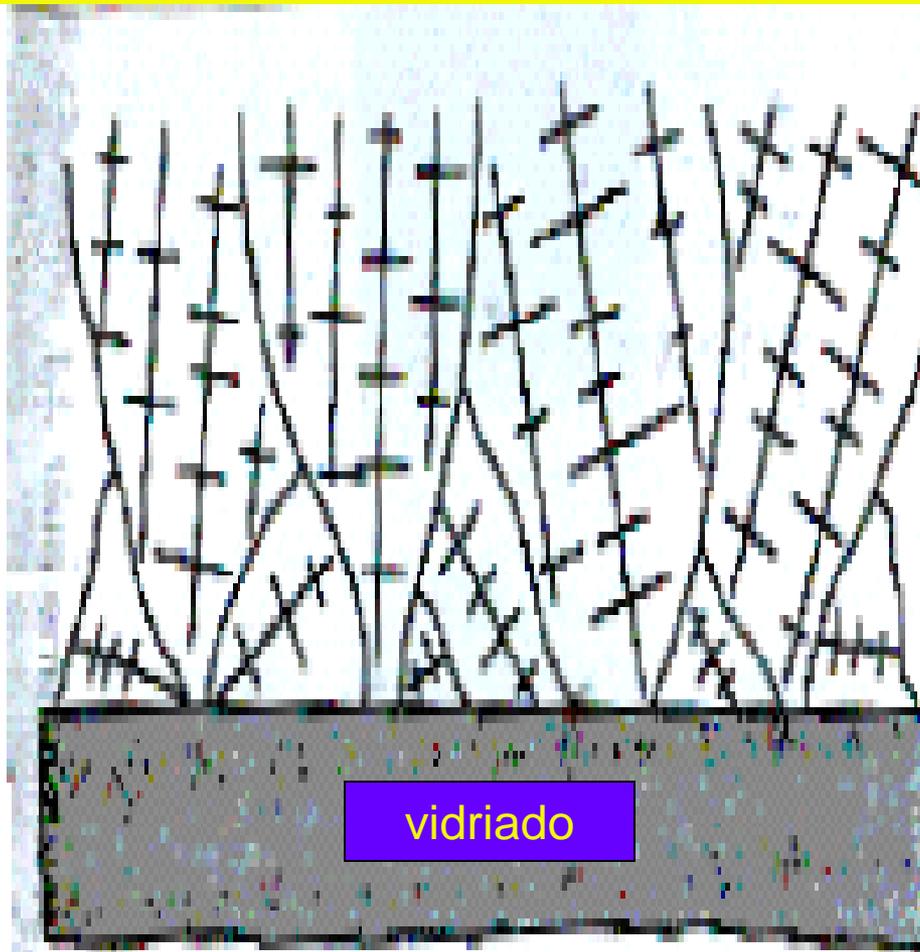
Partly sintered product

# Vidriado de cerámicos

arcilla+óxido metálico



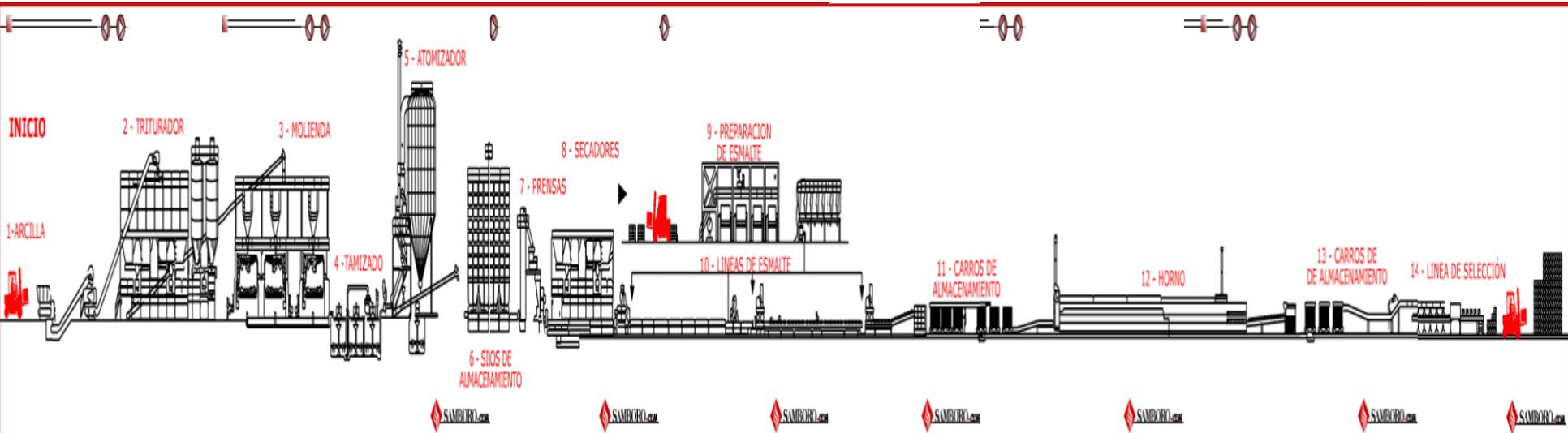
700°C-1200°C



Cuerpo de la arcilla  
sinterizada

Vidriado

# Proceso de fabricación de pisos cerámicos

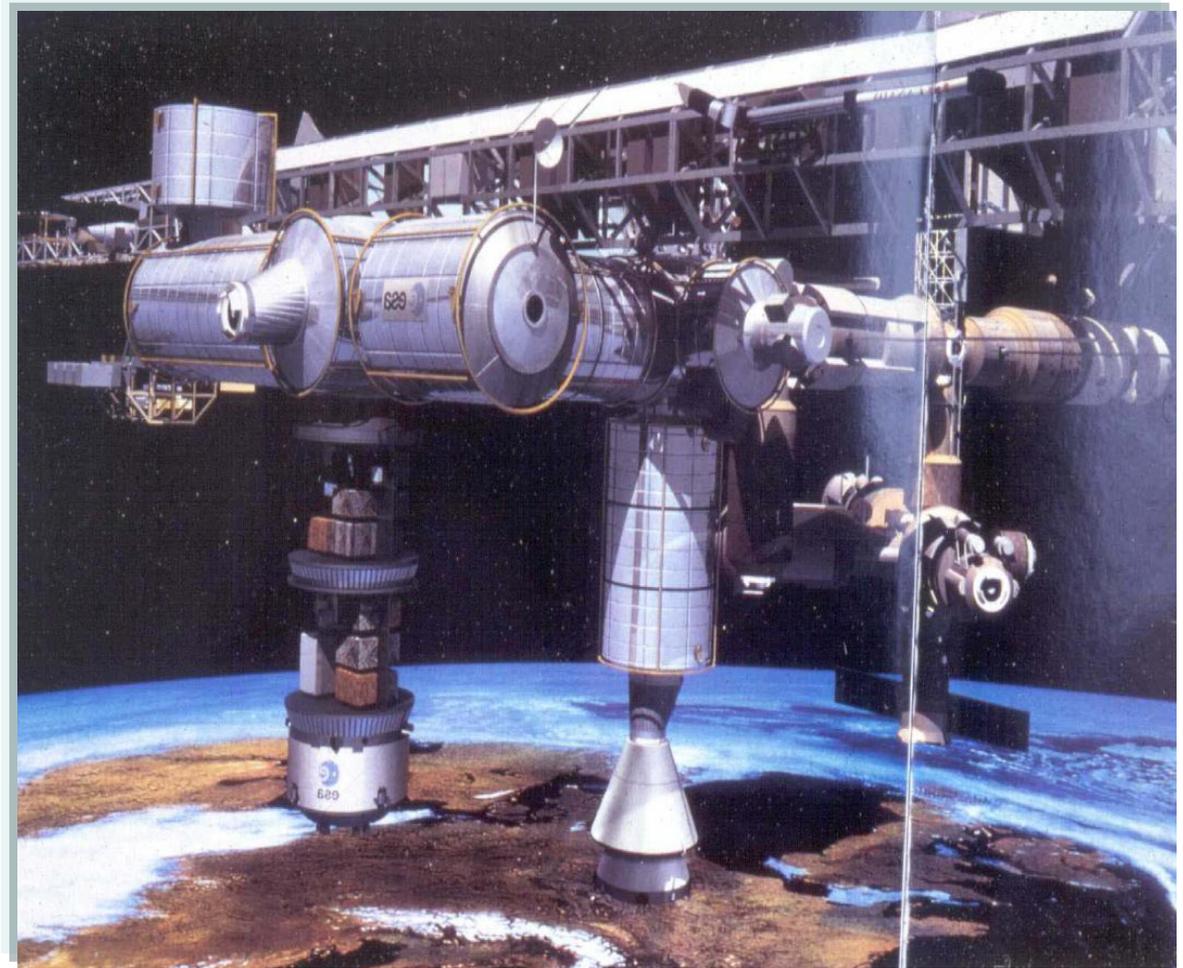


# MATERIALES REFRACTARIOS

- 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:  
 $\text{SiO}_2$   
 $\text{ZrO}_2$
- Básicos:  
 $\text{CaO}$   
 $\text{MgO}$
- Neutros:  
 $\text{Al}_2\text{O}_3$   
 $\text{Cr}_2\text{O}_4$



# **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:**

SiO<sub>2</sub> (Oxido de Silicio) (%) : 75,0 Mín.

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Oxido de Aluminio) (%) : 18,0 Mín.

TiO<sub>2</sub> (Oxido de Titanio) (%) : 1,3 Máx.

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Oxido Férrico) (%) : 1,8 Máx.

CaO+MgO+Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O (Alkalis)(%) : 3,0 Máx.

### **3. Propiedades físicas:**

Densidad Aparente (g/cm<sup>3</sup>) : 1,9

Porosidad aparente (%) : 22,0 Máx.

Resistencia a la Compresión en Frío (N/mm<sup>2</sup>) : 20,0 Mín.

Resistencia a la Compresión (N/mm<sup>2</sup>) 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.

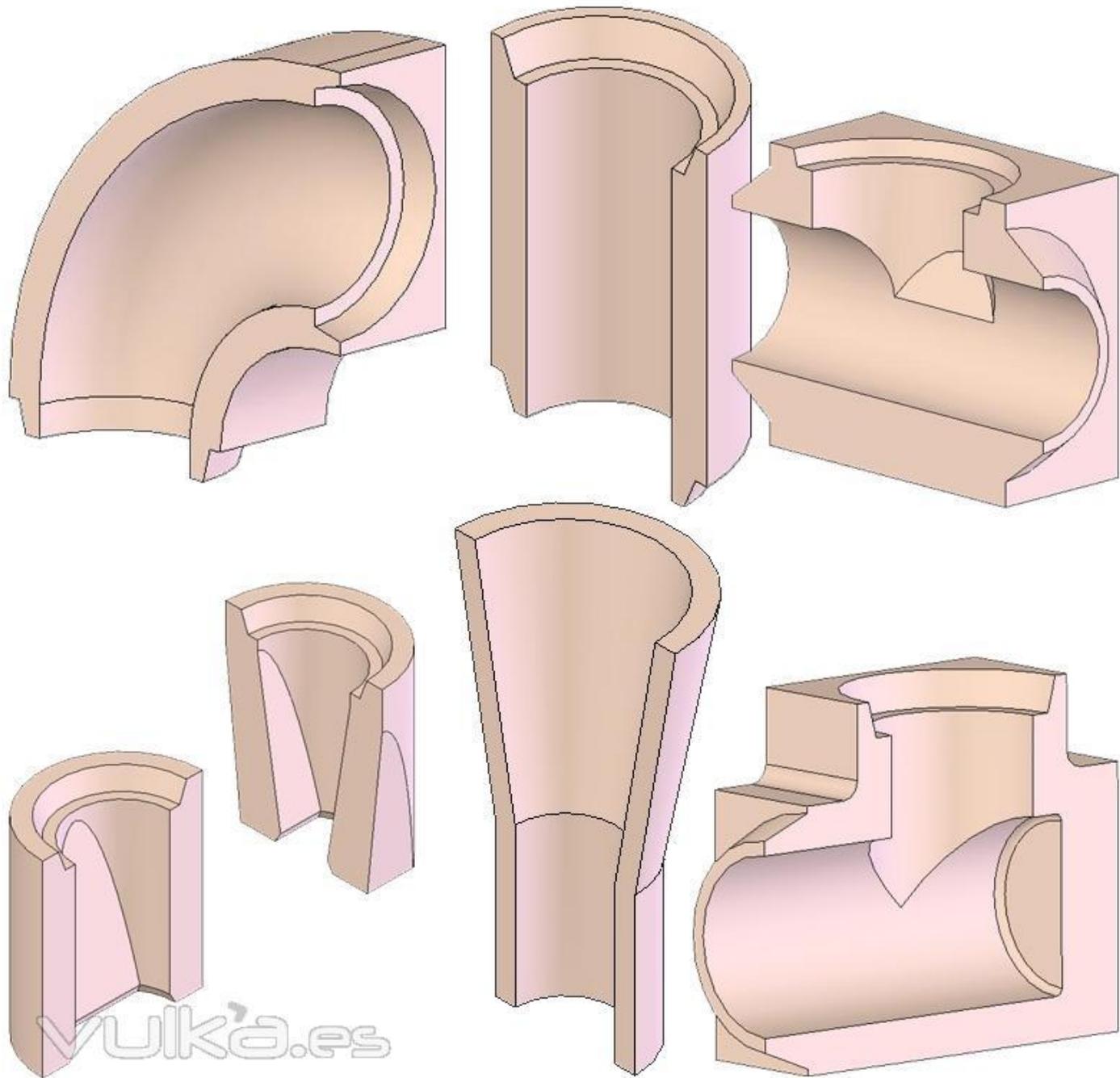
1000 °C : 1,23.

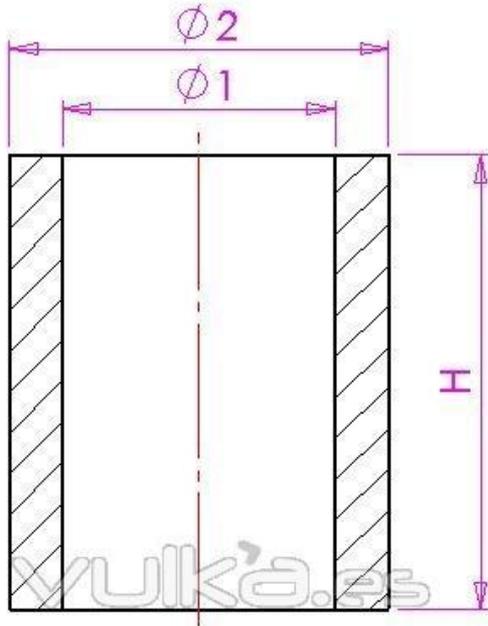
**4. Forma y presentación:** Los ladrillos deben estar embalados sobre paletas de madera, flejados y cubiertos con plástico.

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

# materiales refractarios



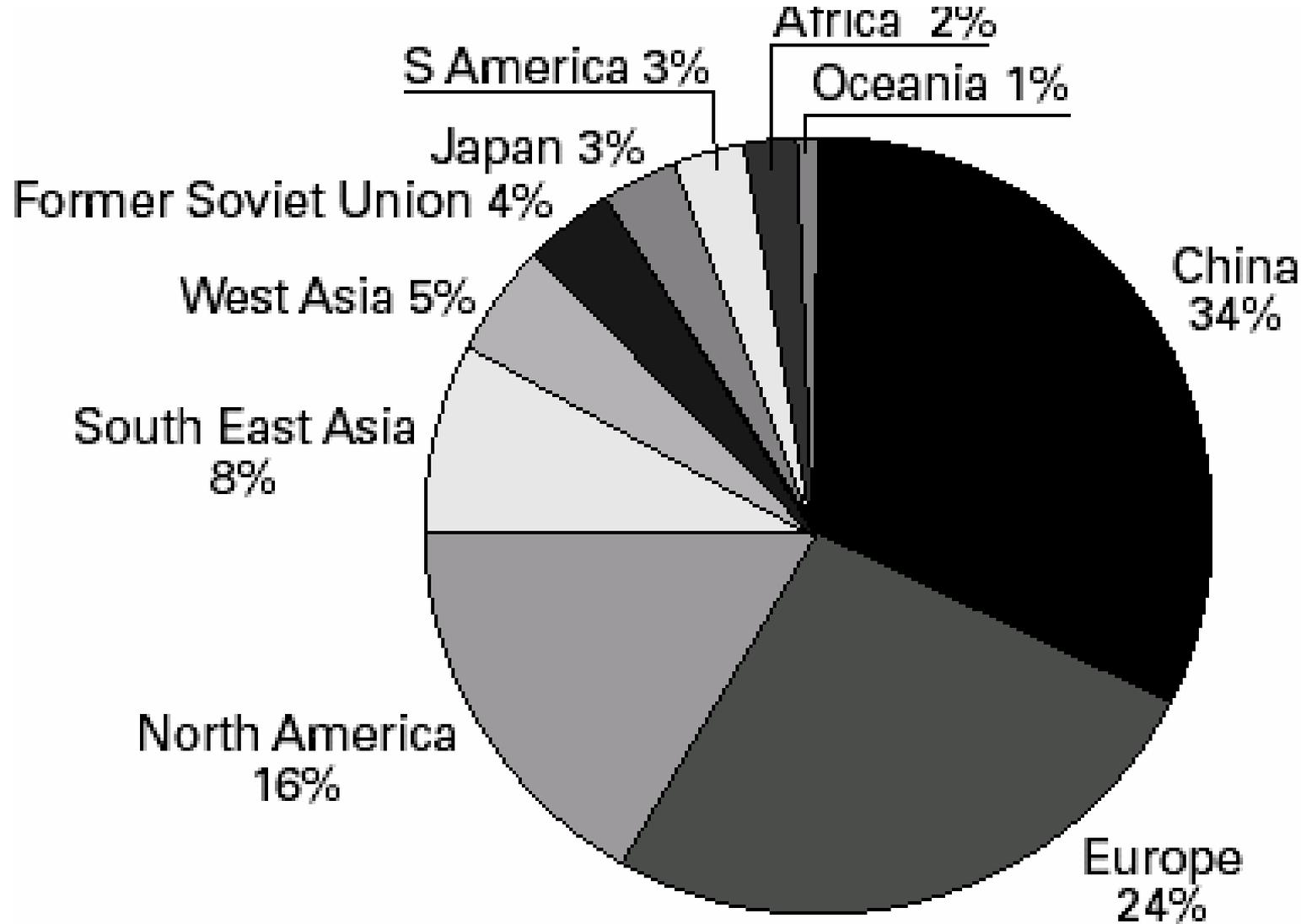






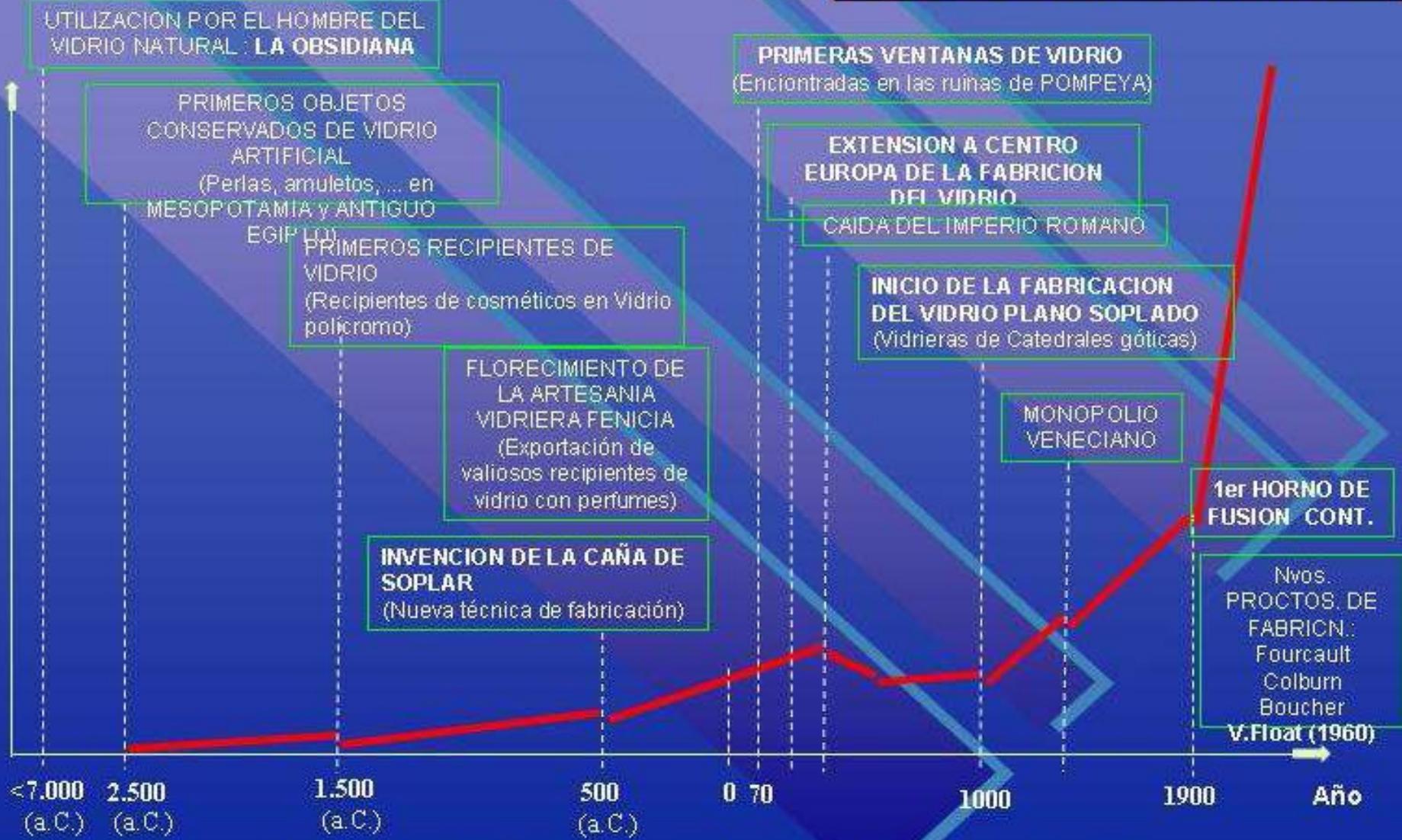
# VIDRIOS

Julio Aguilar



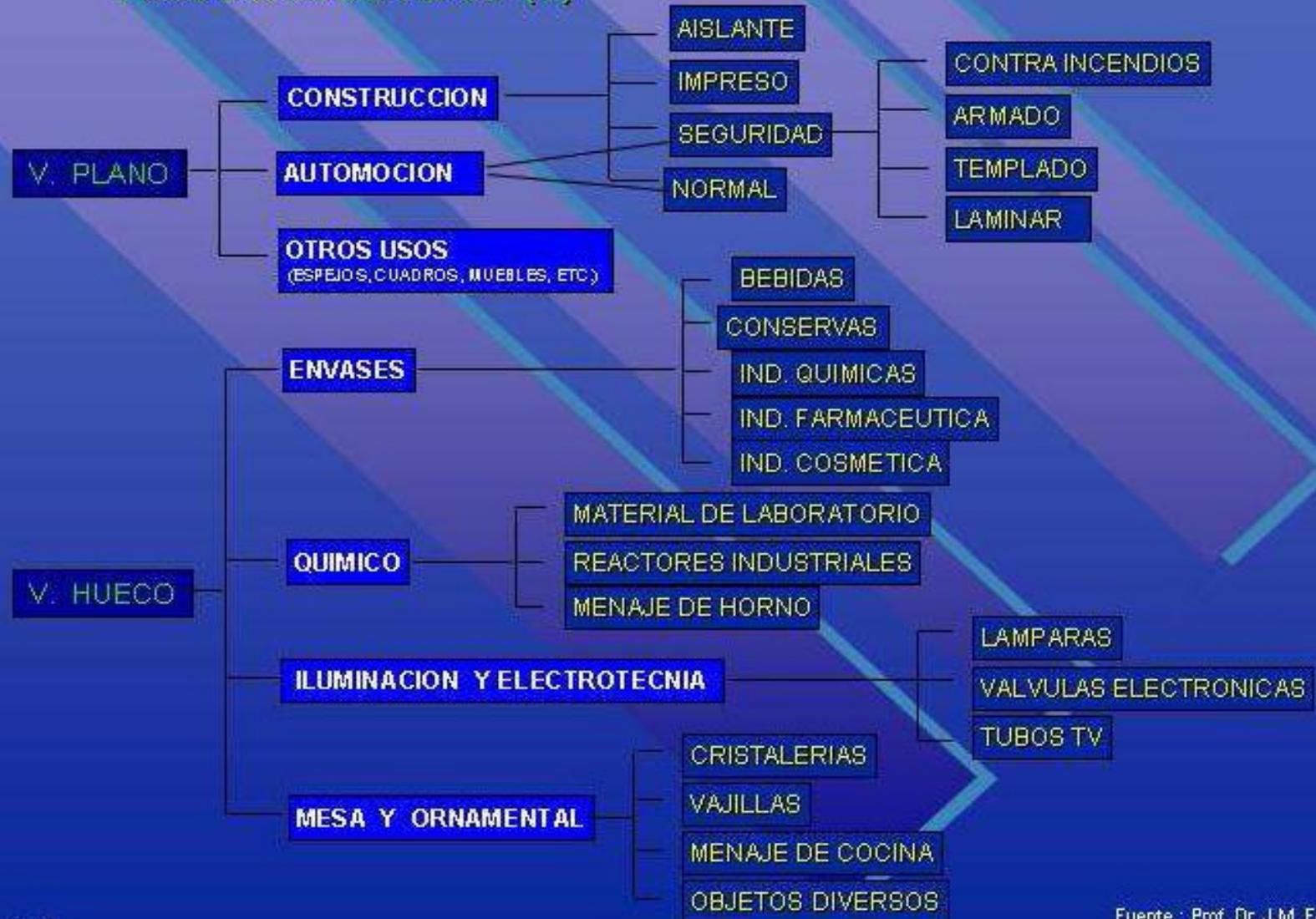
**Tanto por ciento de producción de vidrio plano por países y zonas del mundo.**

## 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:



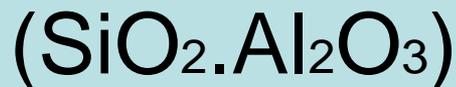
- Vidrio de plomo alcalino:



- Vidrio de borosilicato:

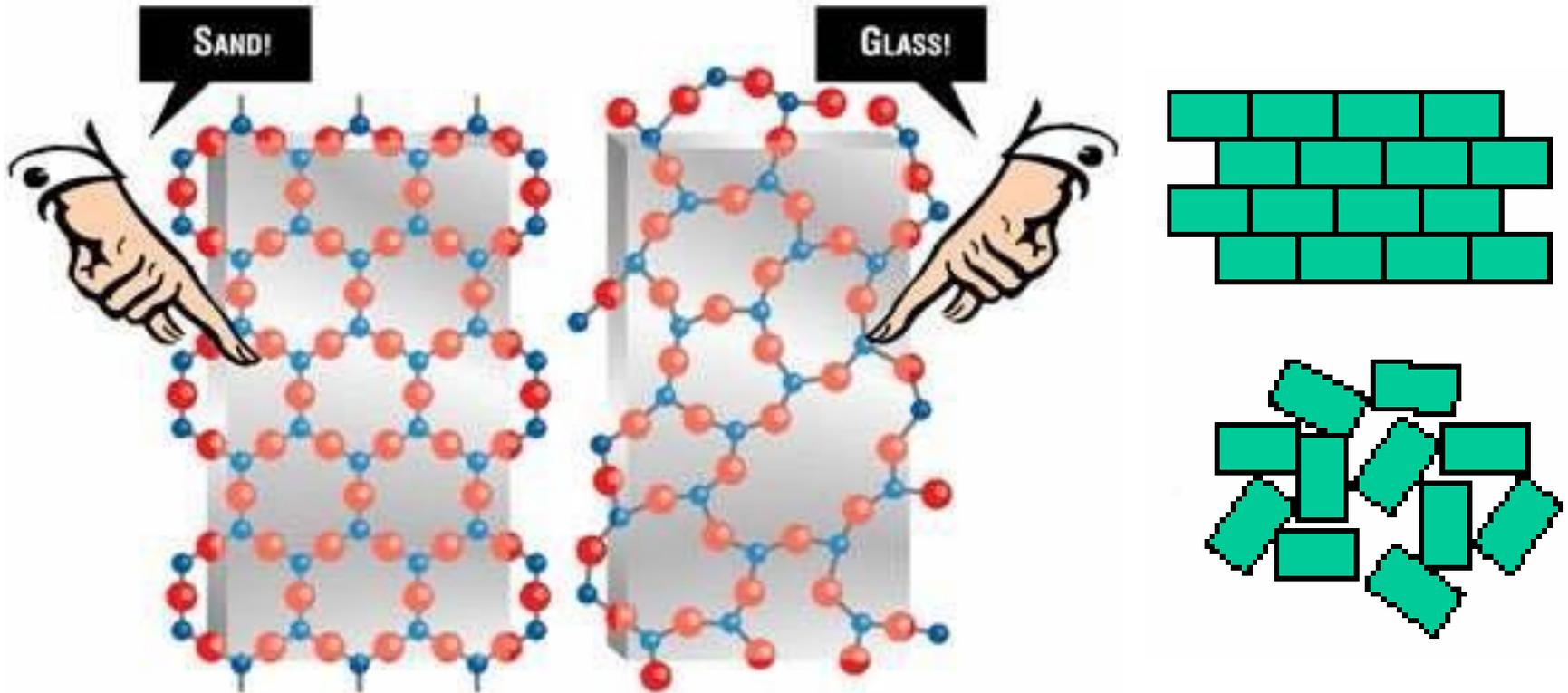
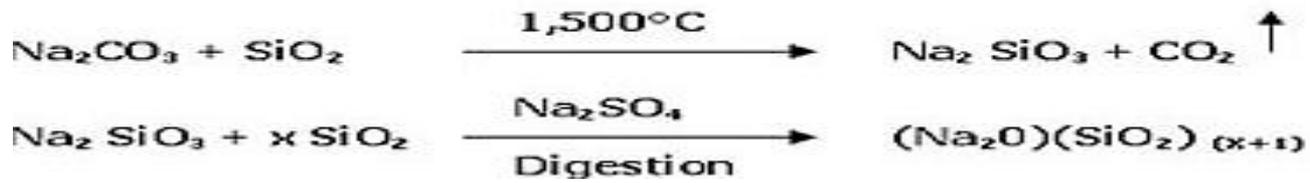


- Vidrio de aluminosilicato:

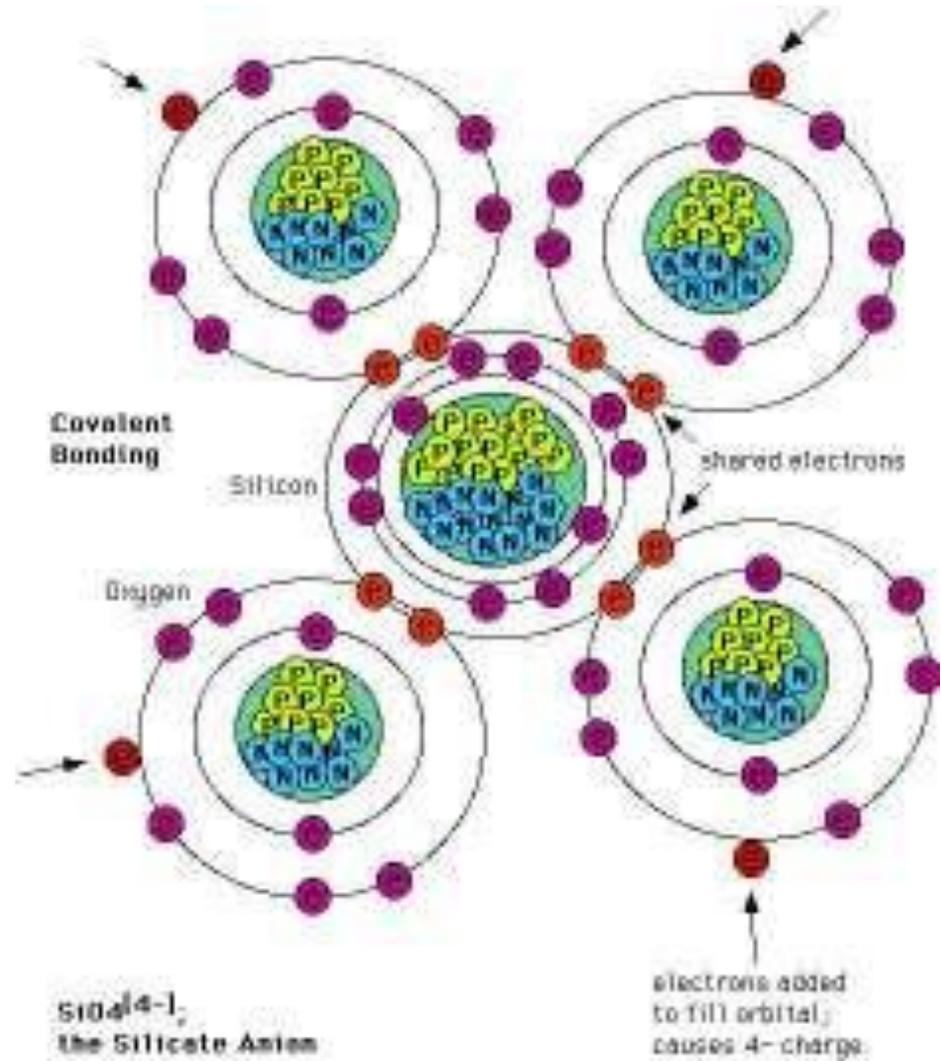
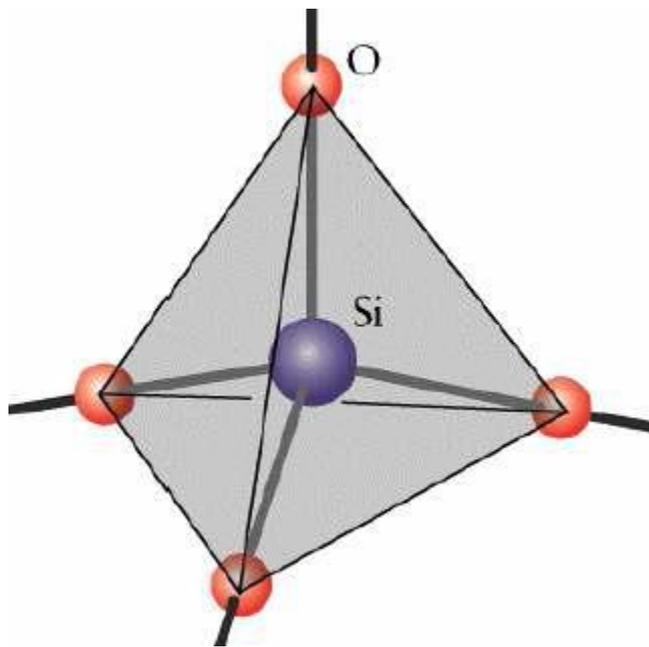


- Vidrio de silice pura:



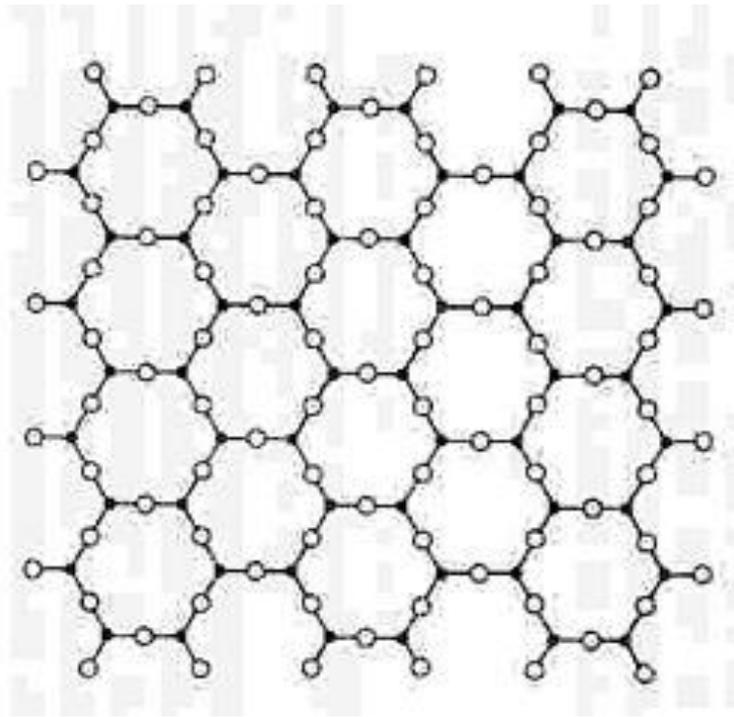


Representación gráfica de las diferencias estructurales entre un cristal (a) y un vidrio (b).

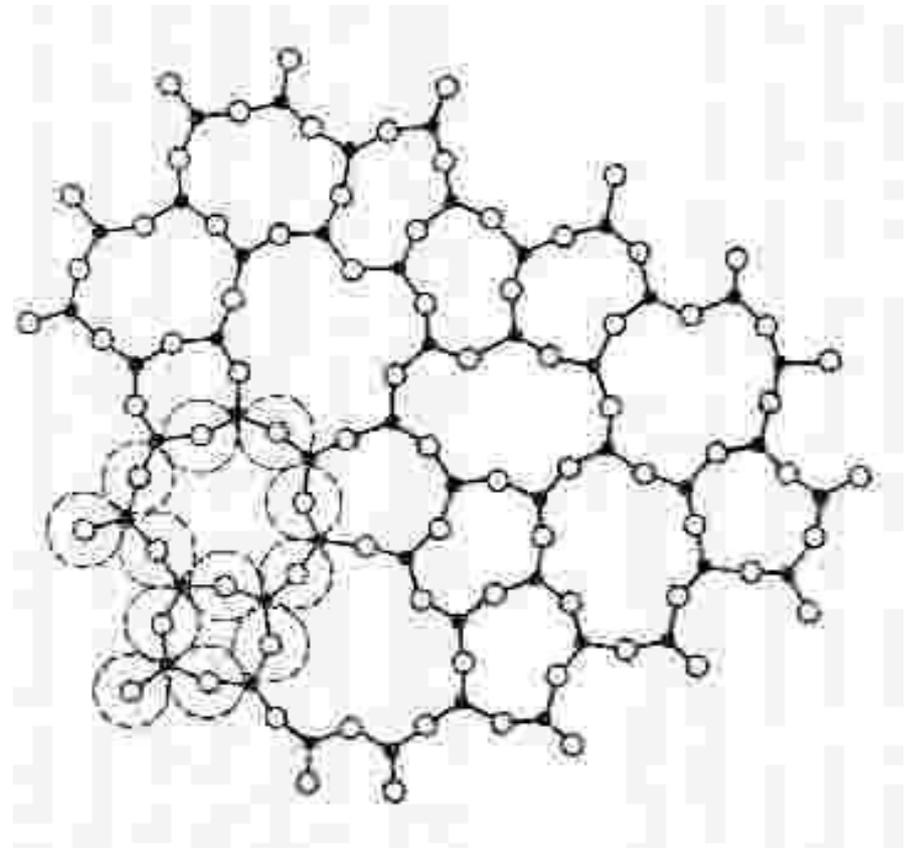


The silicon atom is actually much smaller than the oxygen.

**Un tetraedro silicio-oxigeno  $SiO_4$**



**Cristal organizado de SiO<sub>2</sub>.**

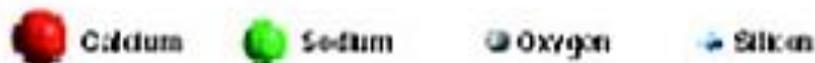
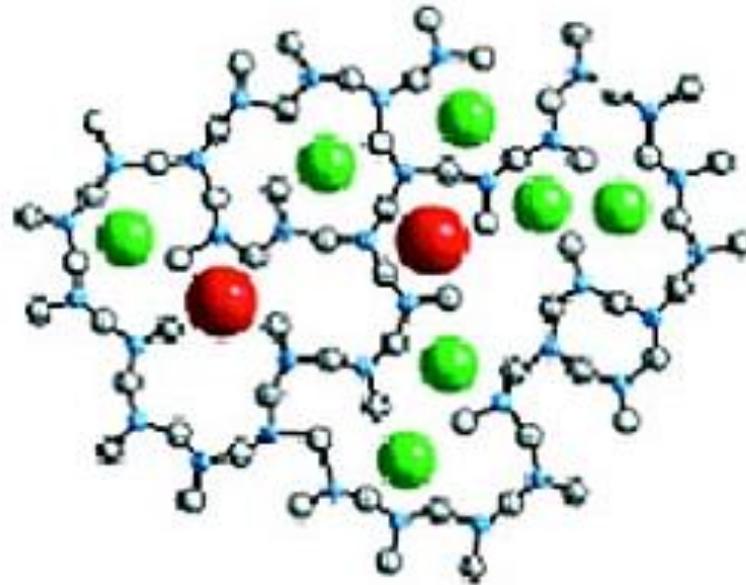
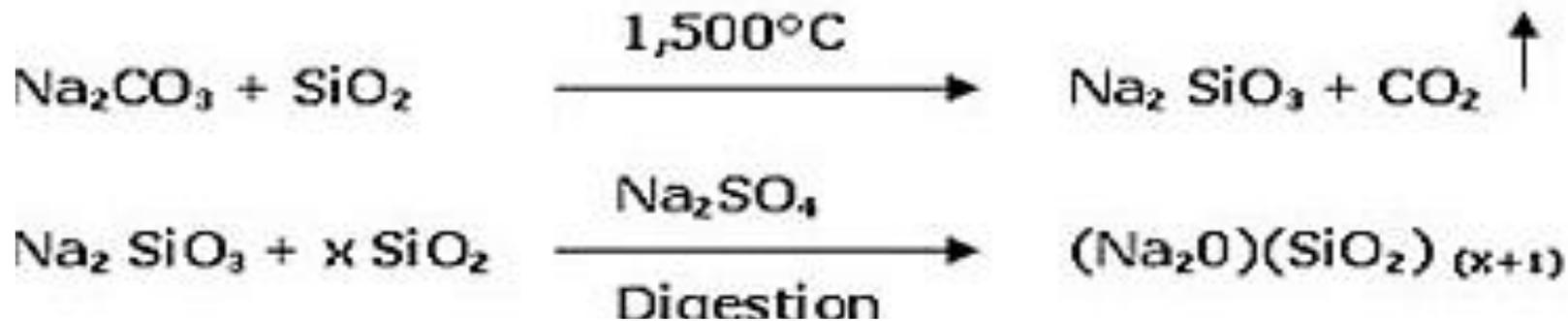


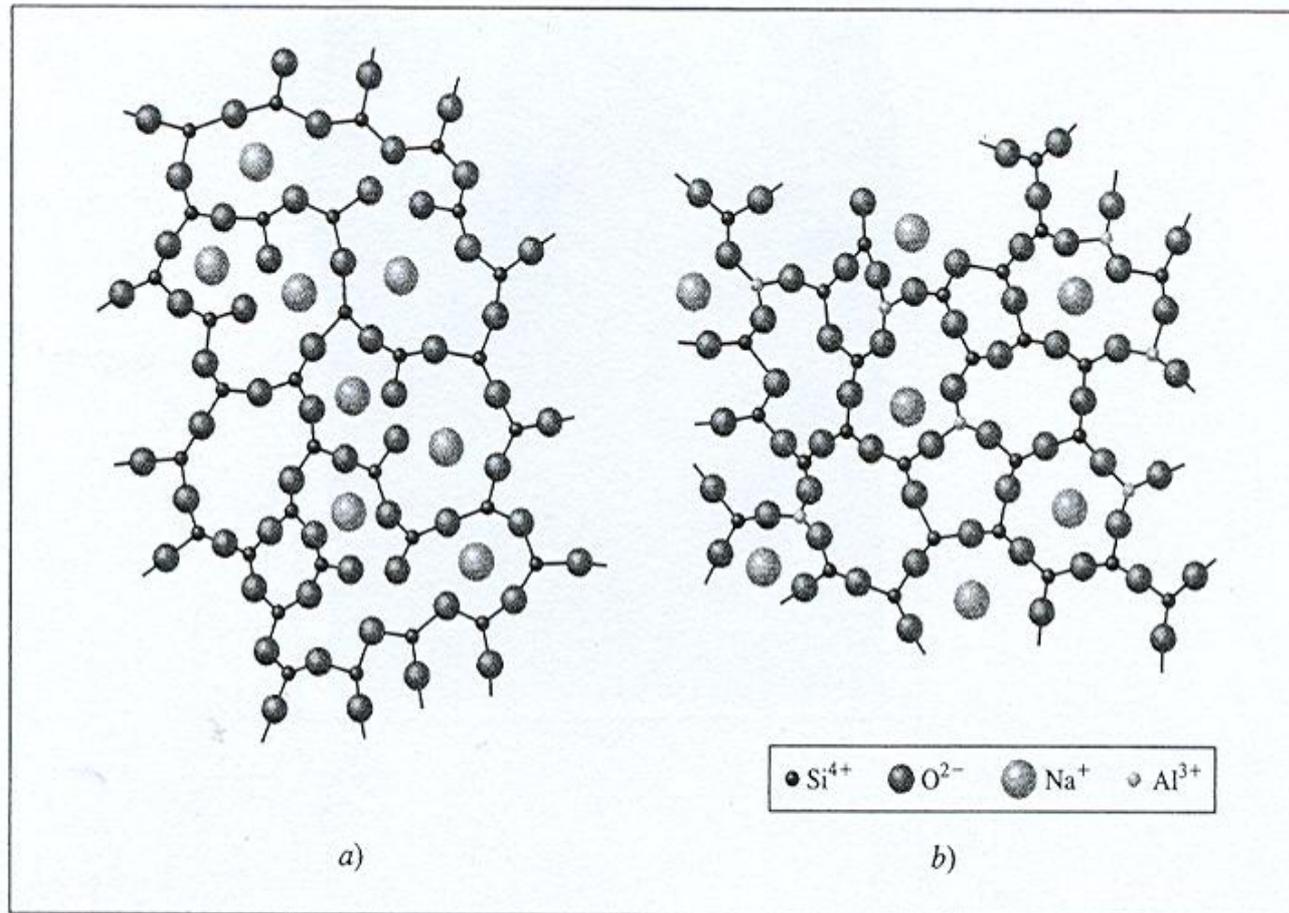
**SiO<sub>2</sub> en estado vítreo**

## Intervalos de composición frecuentes en los vidrios comunes

Componente	Desde ... %	... hasta %
$\text{SiO}_2$	68,0	74,5
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,0	4,0
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,0	0,45
$\text{CaO}$	9,0	14,0
$\text{MgO}$	0,0	4,0
$\text{Na}_2\text{O}$	10,0	16,0
$\text{K}_2\text{O}$	0,0	4,0
$\text{SO}_3$	0,0	0,3

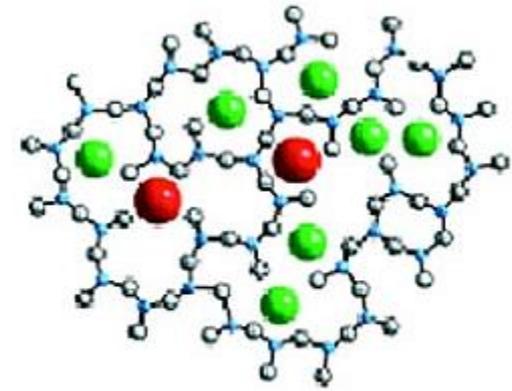
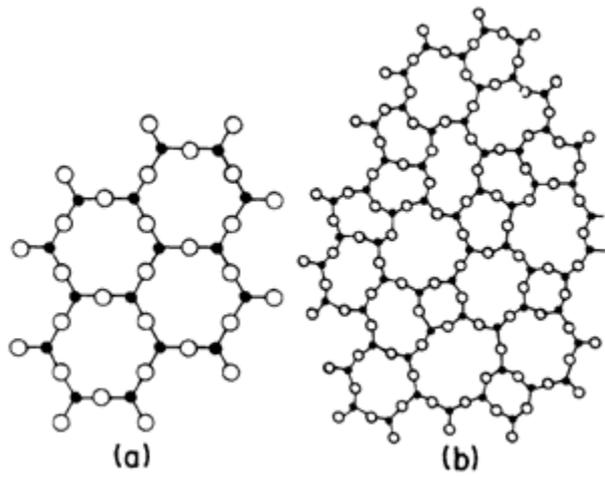
# Química del Vidrio: Reacciones Básicas



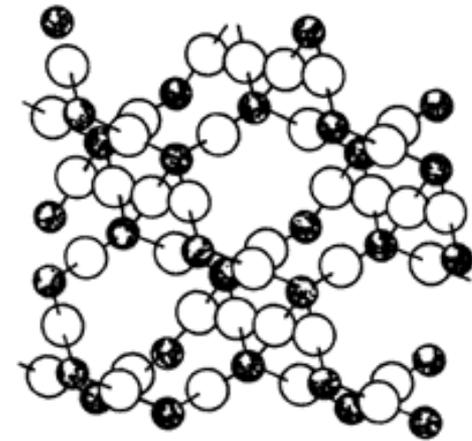
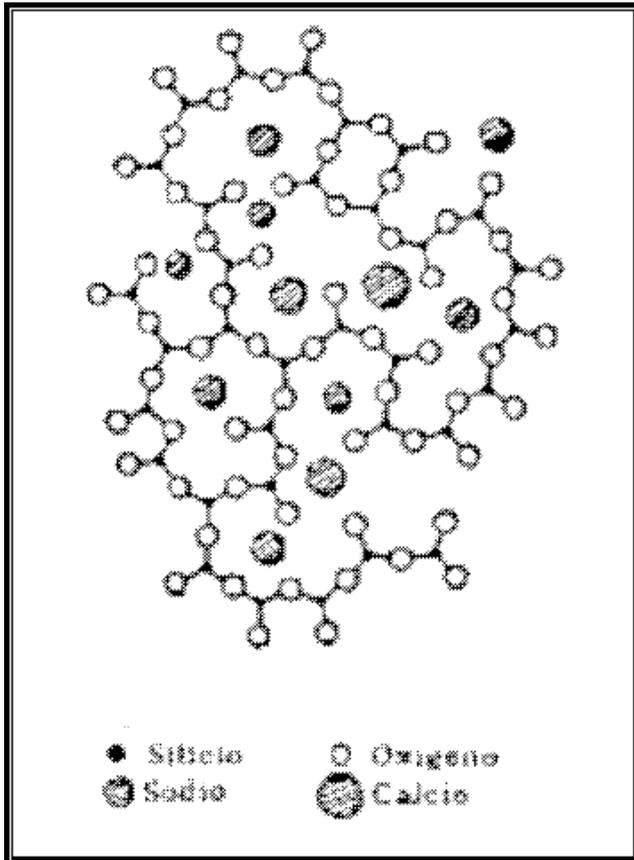


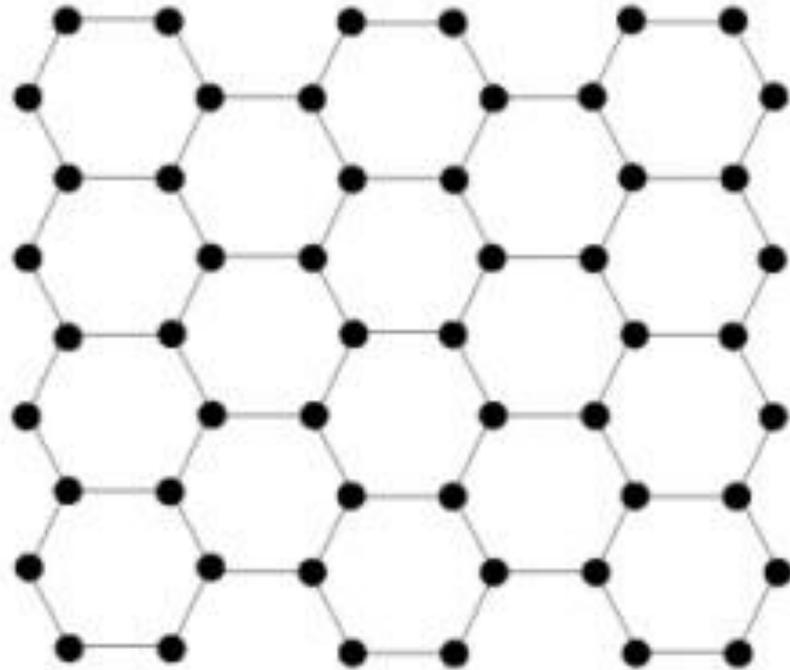
(Según O. H. Wyatt y D. Dew-Hughes, «Metals, Ceramics, and Polymers», Cambridge, 1974, p. 263.)

**FIGURA 10.54.** a) Vidrio de red modificada (vidrio sodo-cálcico); obsérvese que los iones metálicos (Na<sup>+</sup>) no forman parte de la red, y b) vidrio de óxido intermediario (alúmina-silice); obsérvese cómo los pequeños iones metálicos (Al<sup>3+</sup>) forman parte de la red.

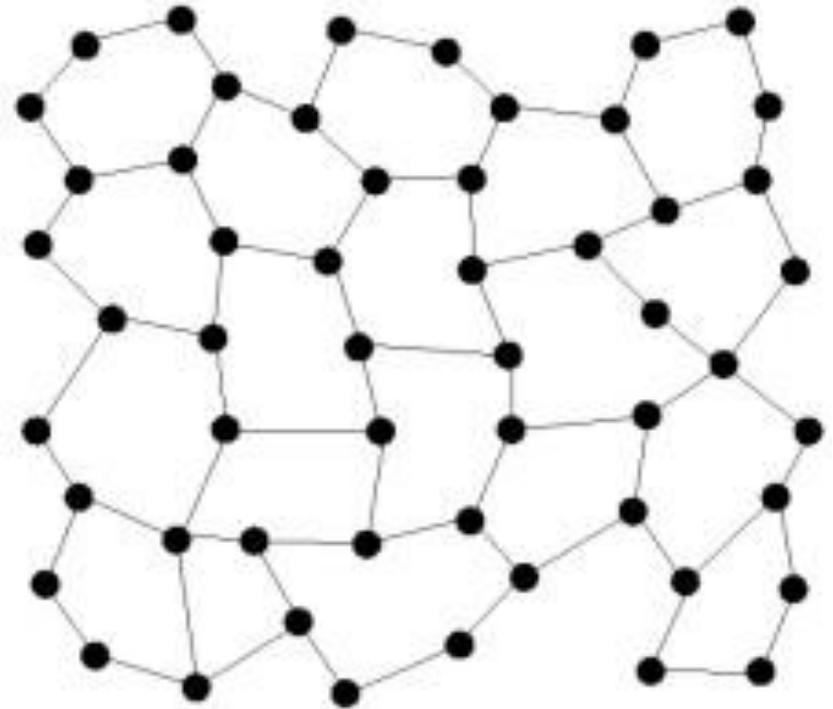


● Calcium    ● Sodium    ○ Oxygen    ● Silicon

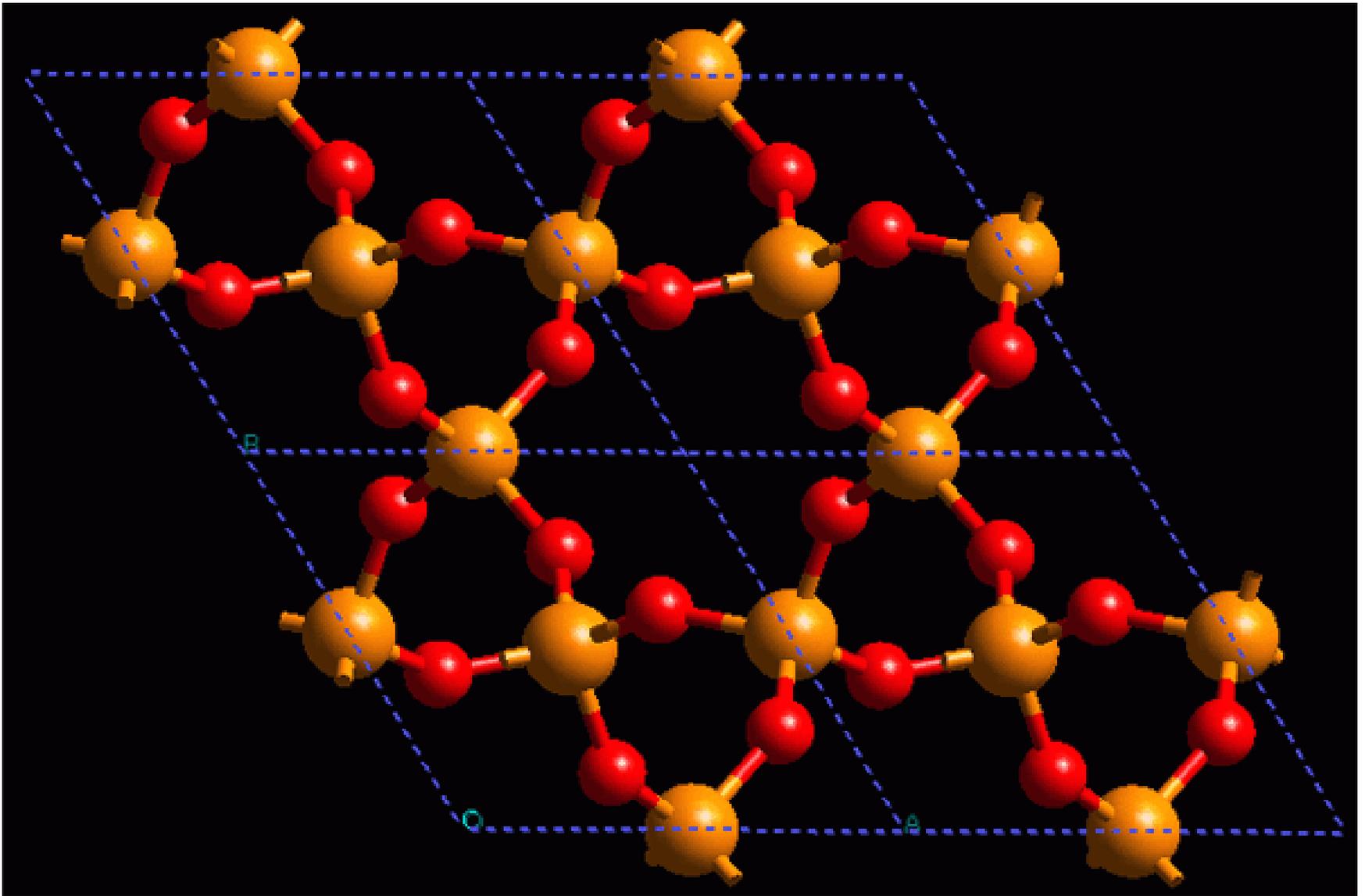




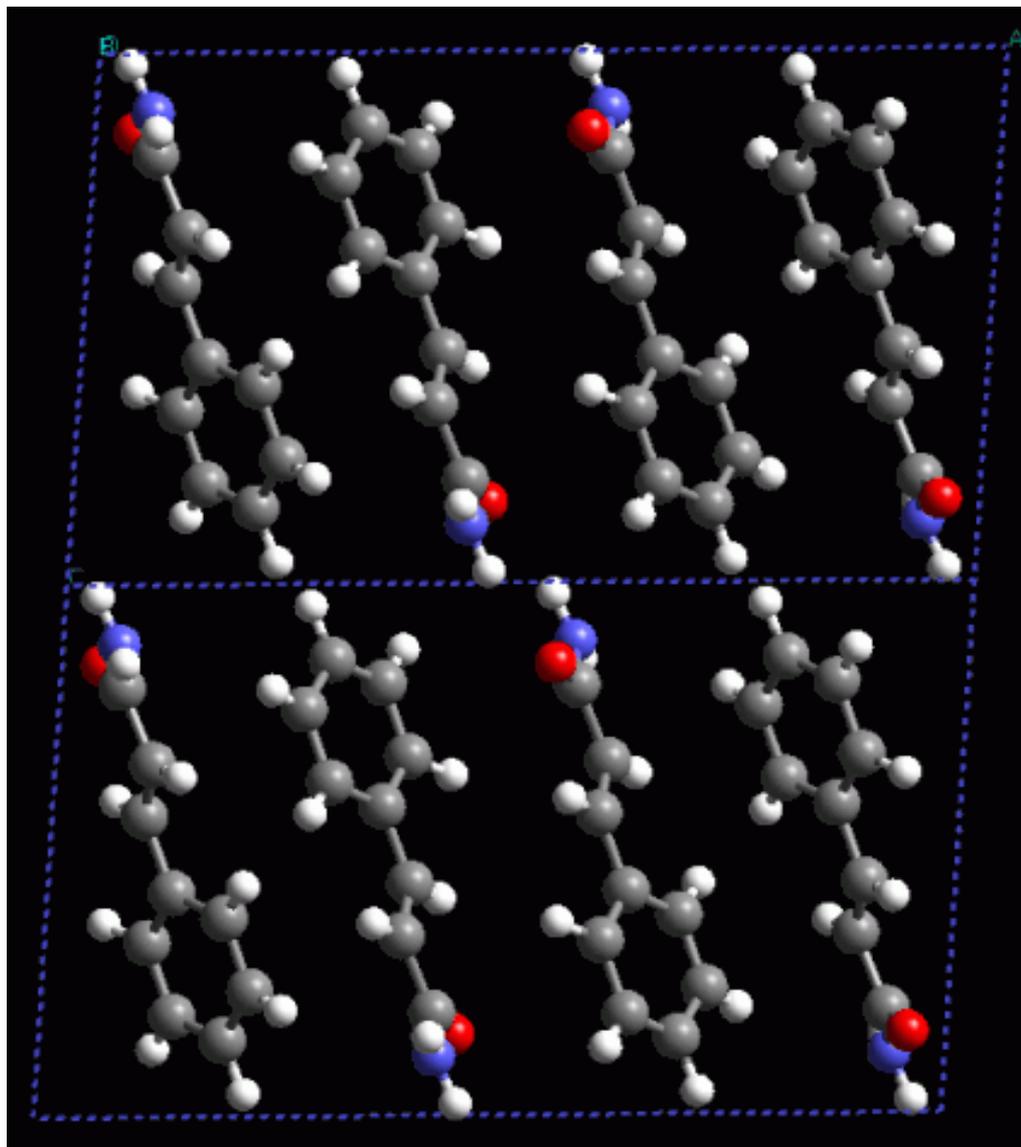
***Modelo atómico en un material  
ordenado (cristal)***



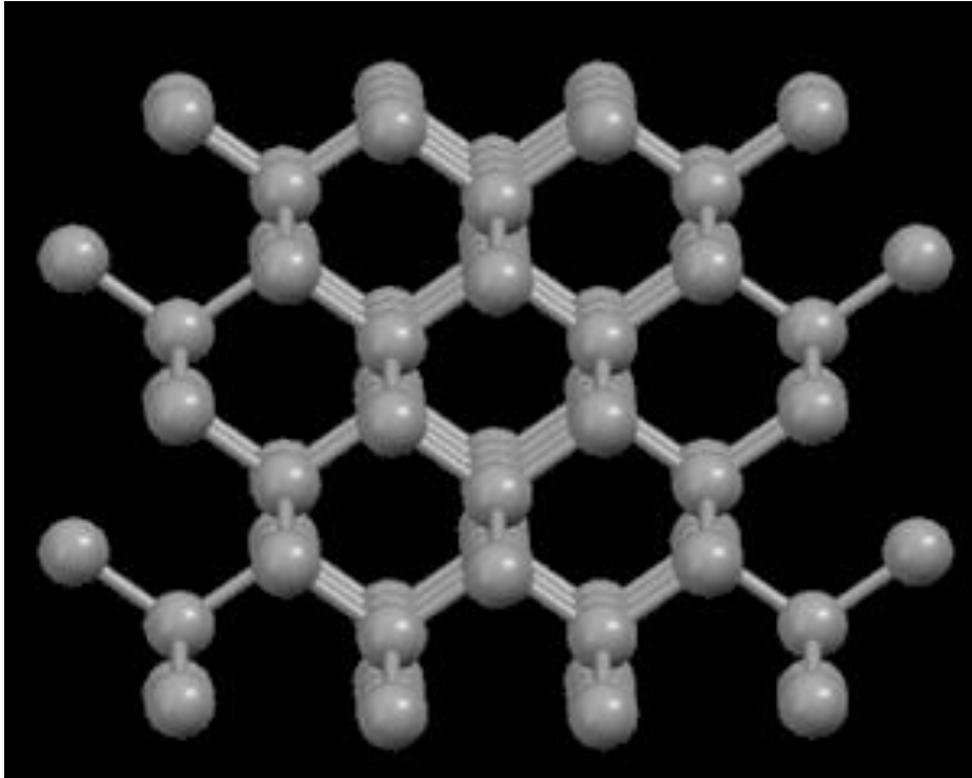
***Modelo atómico de un vidrio***



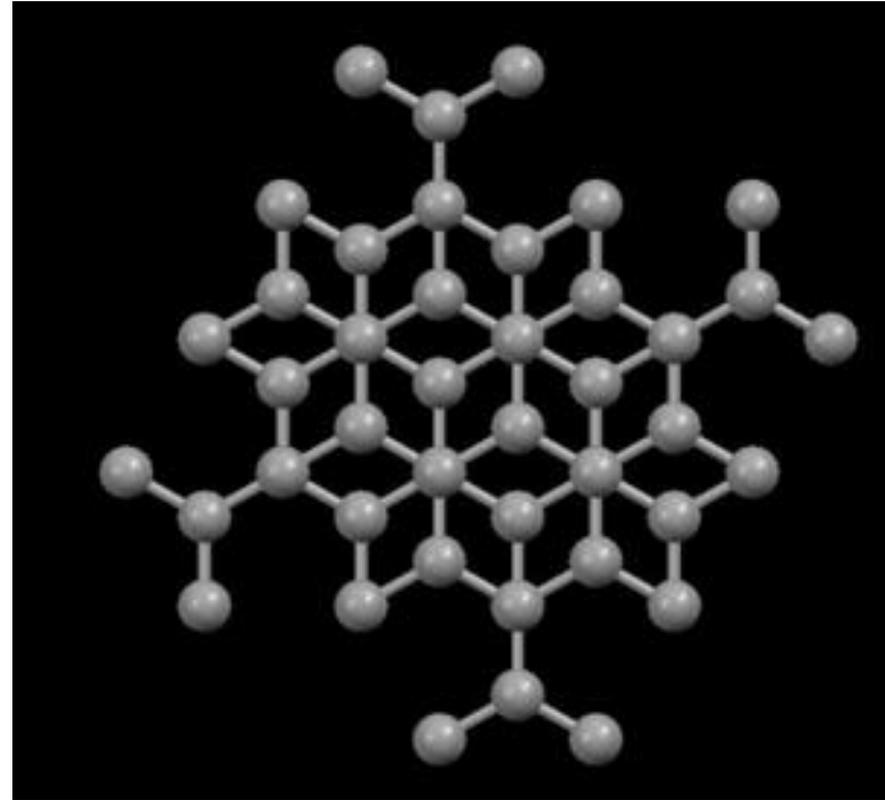
***Estructura cristalina de un material inorgánico: el alfa-cuarzo***



***Estructura cristalina de un material orgánico: cinnamida***

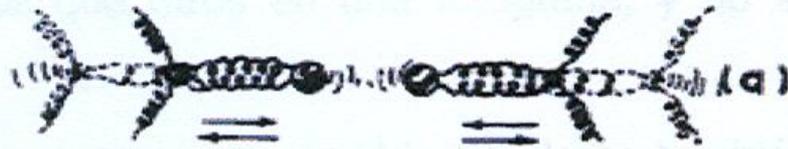
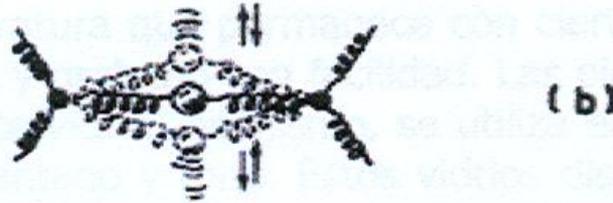
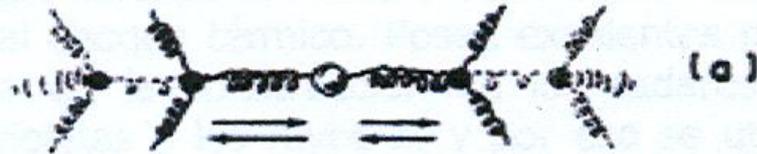


***Diamante, con estructura muy compacta***



***Grafito, con estructura atómica en láminas***

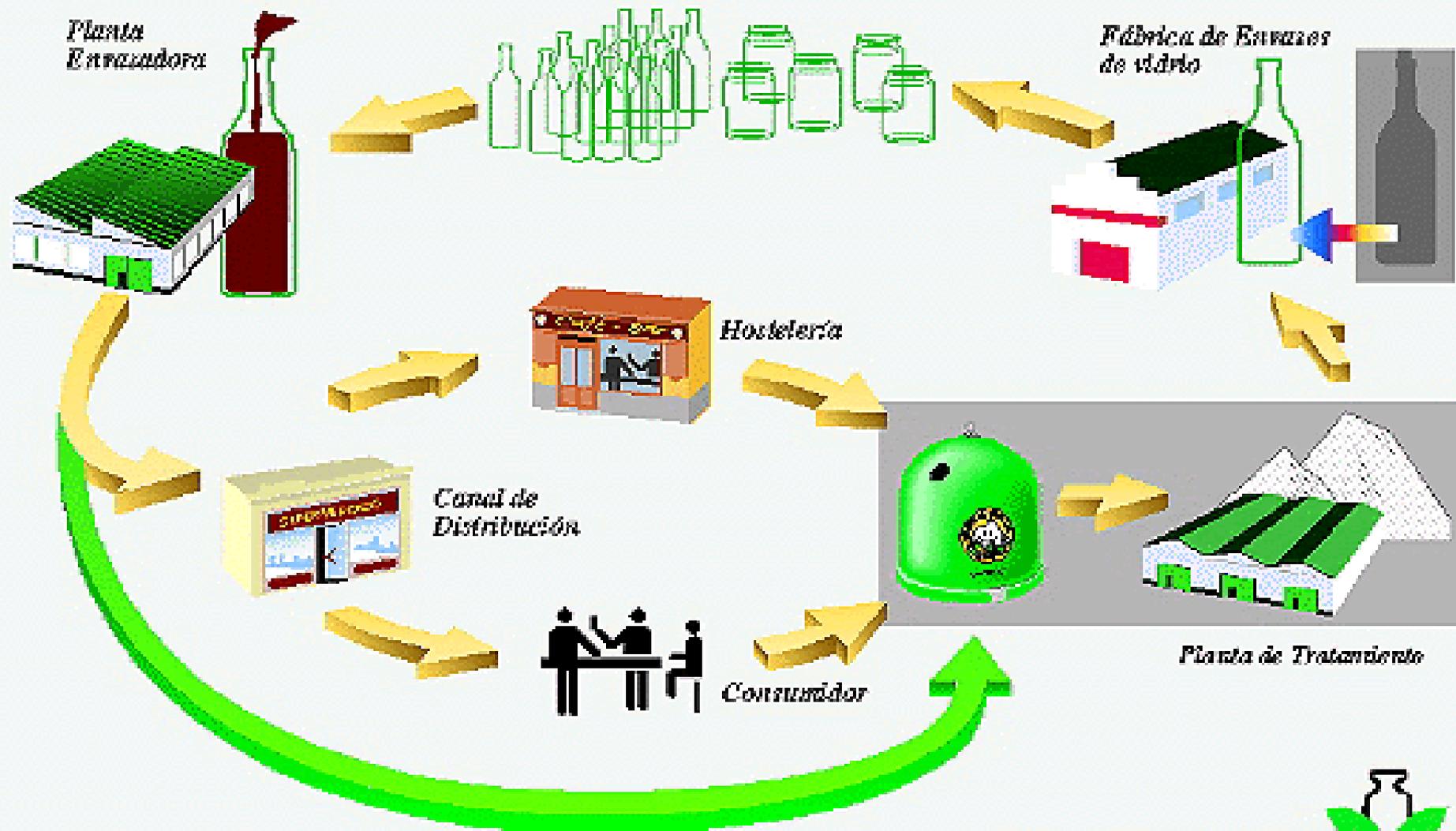
# Modelo de vibración de las moléculas del vidrio al ser calentadas y al ser enfriadas



- Silicio
- ⊙ Oxígeno
- Sodio

Vibraciones en la molécula de  $\text{SiO}_2$ .

# *Circuito del Reciclado del Vidrio*



Centro del Envase de Vidrio



# Aplicaciones del Vidrio

## Vidrio Float

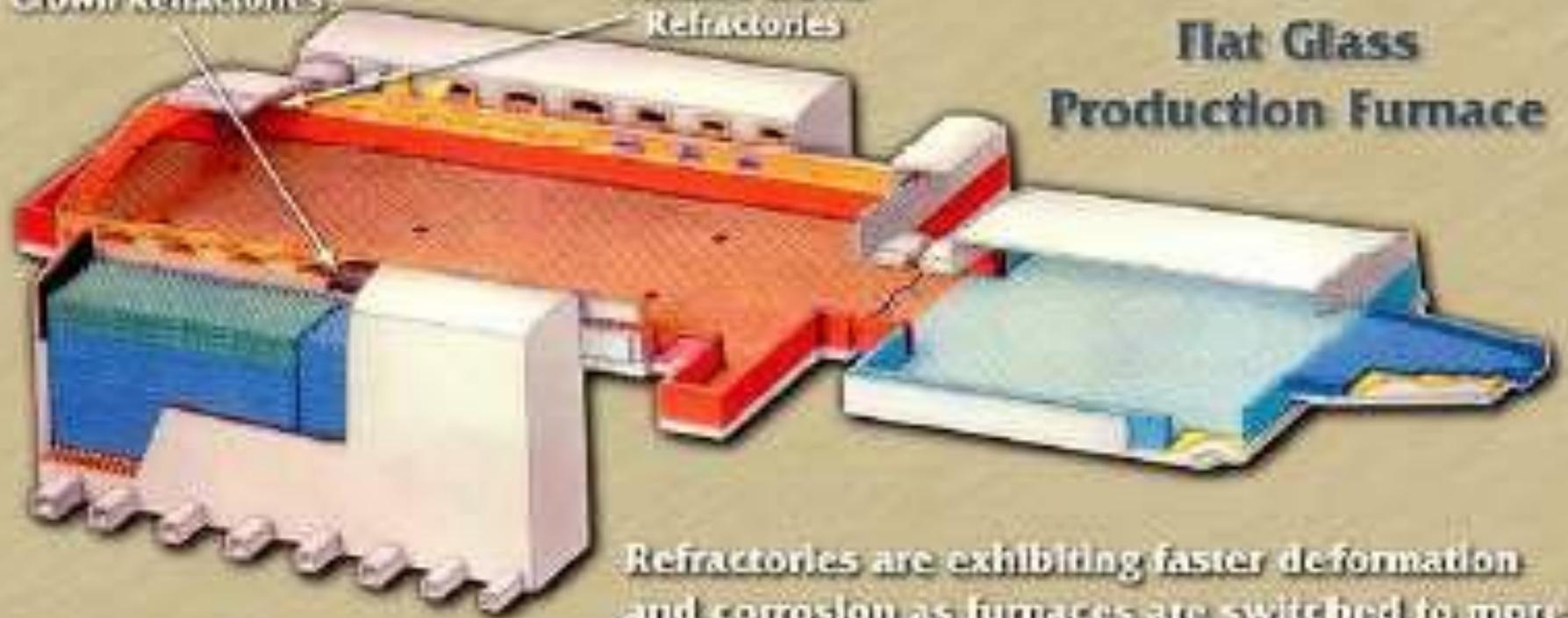
Debido a que la superficie del estaño es plana la del cristal así obtenido también lo es. La lámina es enfriada lentamente mientras sigue flotando sobre el estaño, hasta que con sus superficies lo suficientemente endurecidas, emerge del mismo y continúa avanzando sobre rodillos, sin que éstos afecten 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

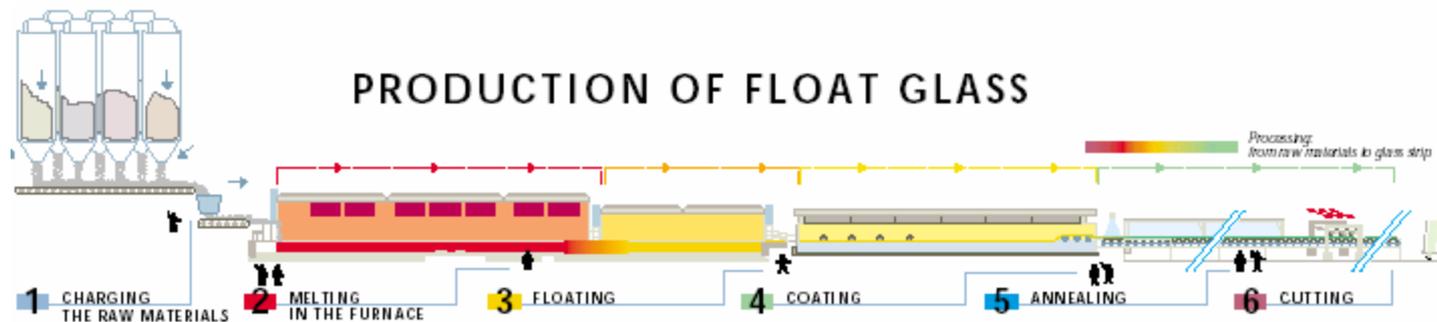
Furnace Crown  
Refractories

## 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.**



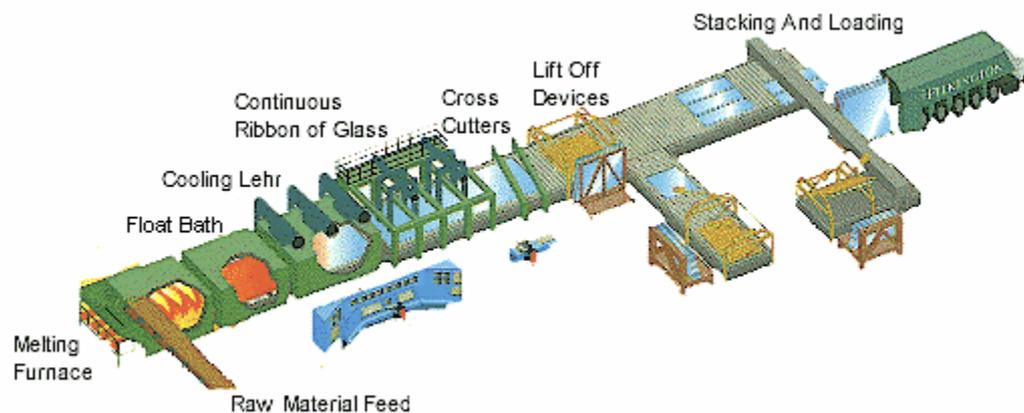
Introducción de materias primas

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

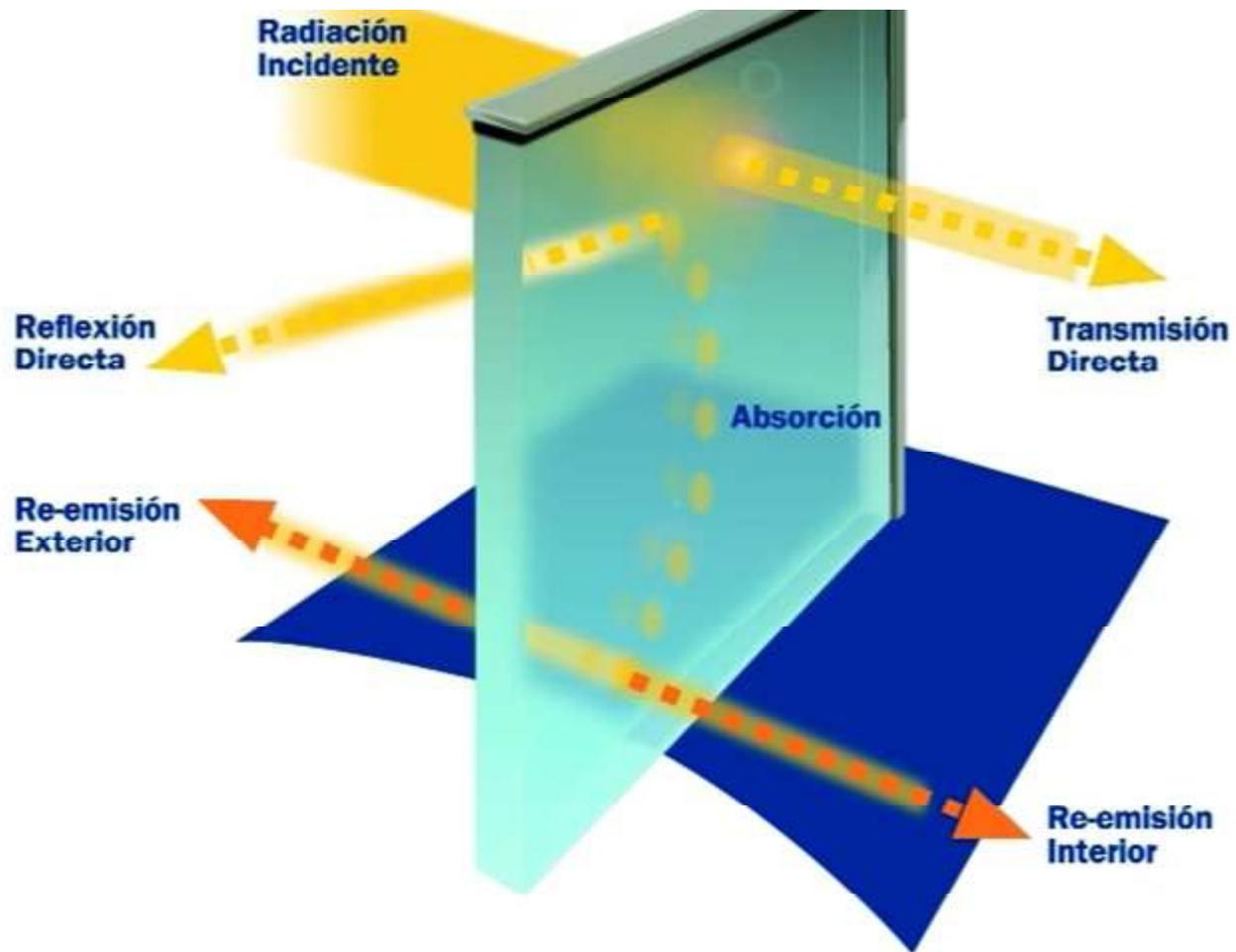
Formación de hoja de vidrio por flotación sobre baño de estaño ( a 1.000 ° C)

Recocido

Control, corte y almacenamiento



**Procedimiento de fabricación de vidrio plano flotado.**



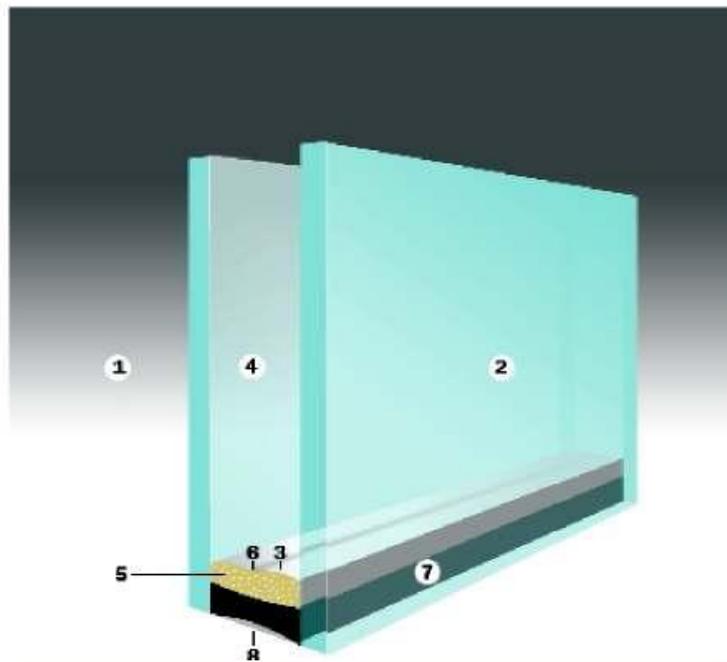


### Estructura Vidrio Laminado

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

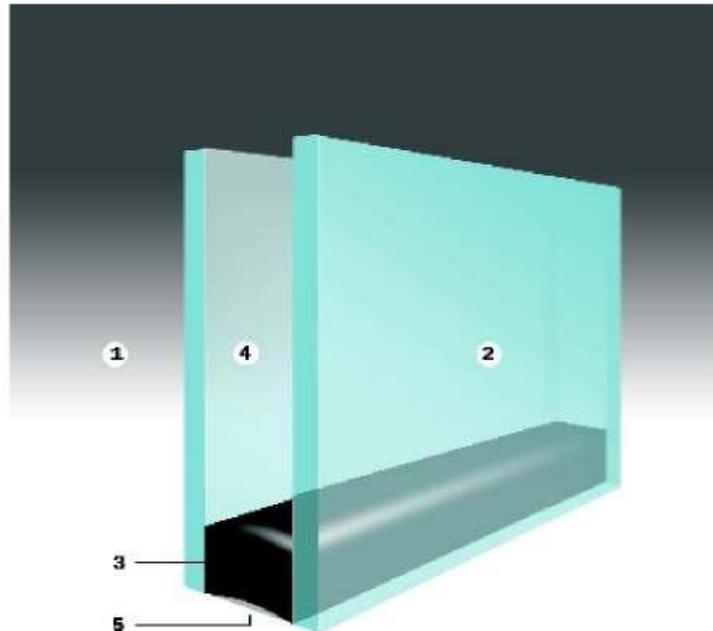


**Estructura del vidrio laminado. Forma de la rotura ante un impacto**



**Estructura  
Doble  
Acrilamiento**

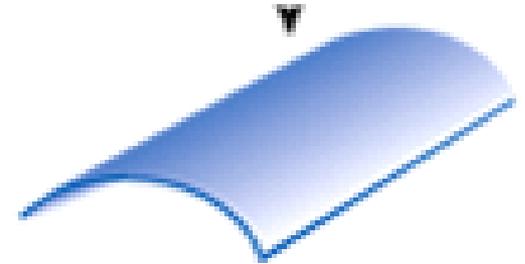
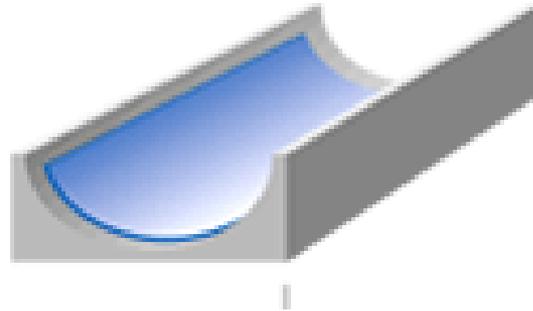
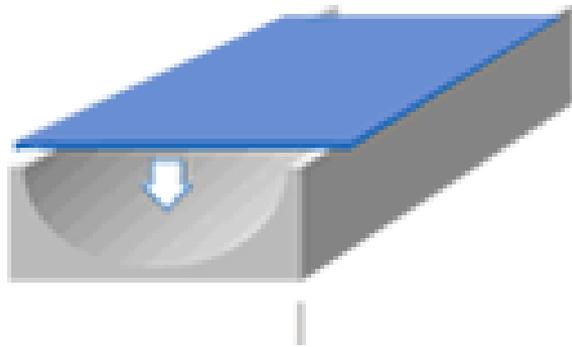
1. Vidrio.  
(flotado, templado, laminado, etc.)
2. Vidrio.  
(flotado, templado, laminado, etc.)
3. Intercalarlo metálico.
4. Cámara de aire.
5. Desecante.
6. Ranura de comunicación.
7. Butilo.
8. Silicona.



**Estructura  
Doble  
Acrilamiento 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 acristamiento. 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

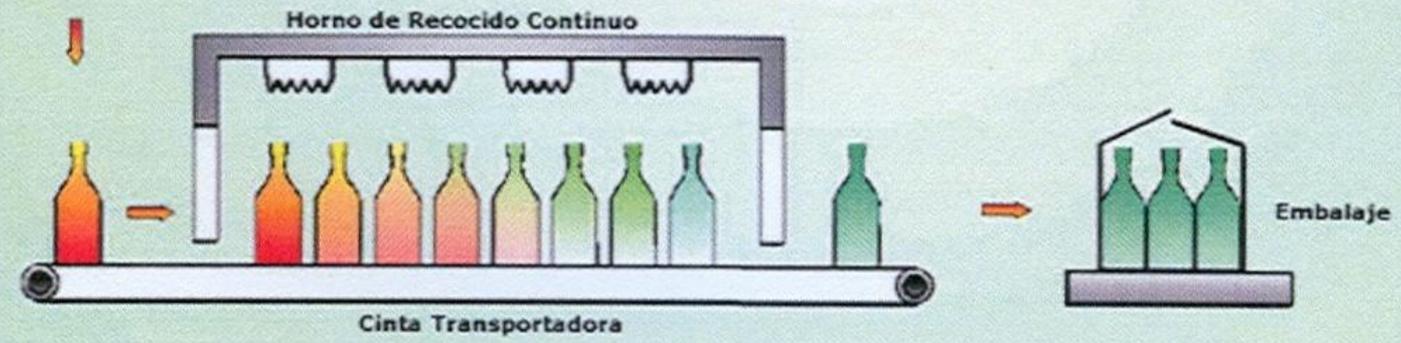
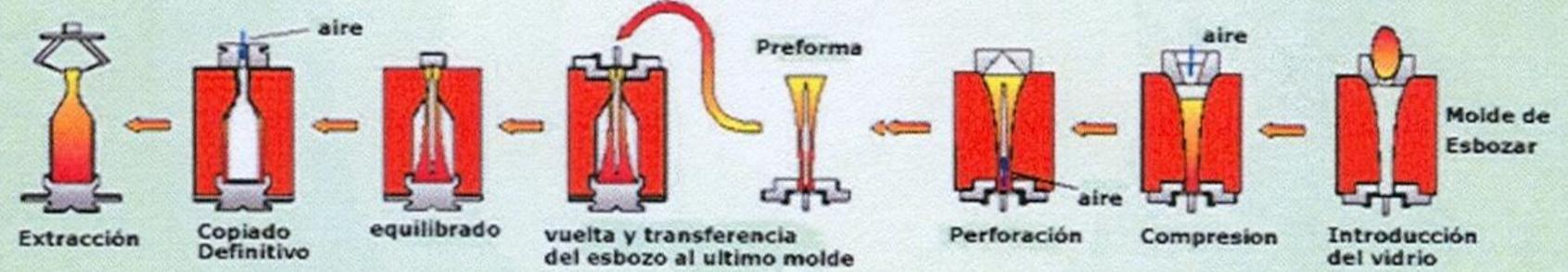
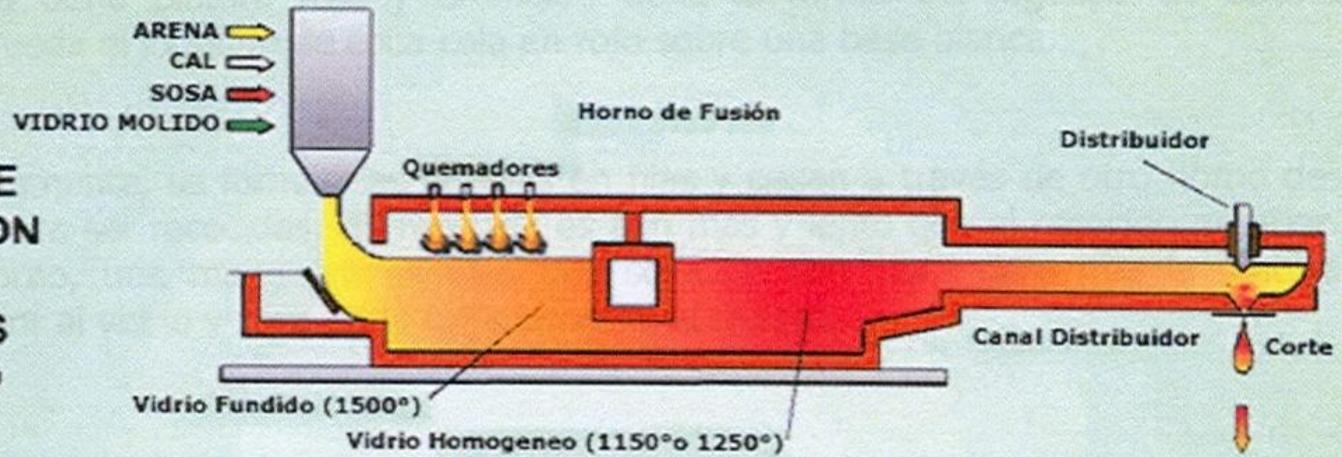
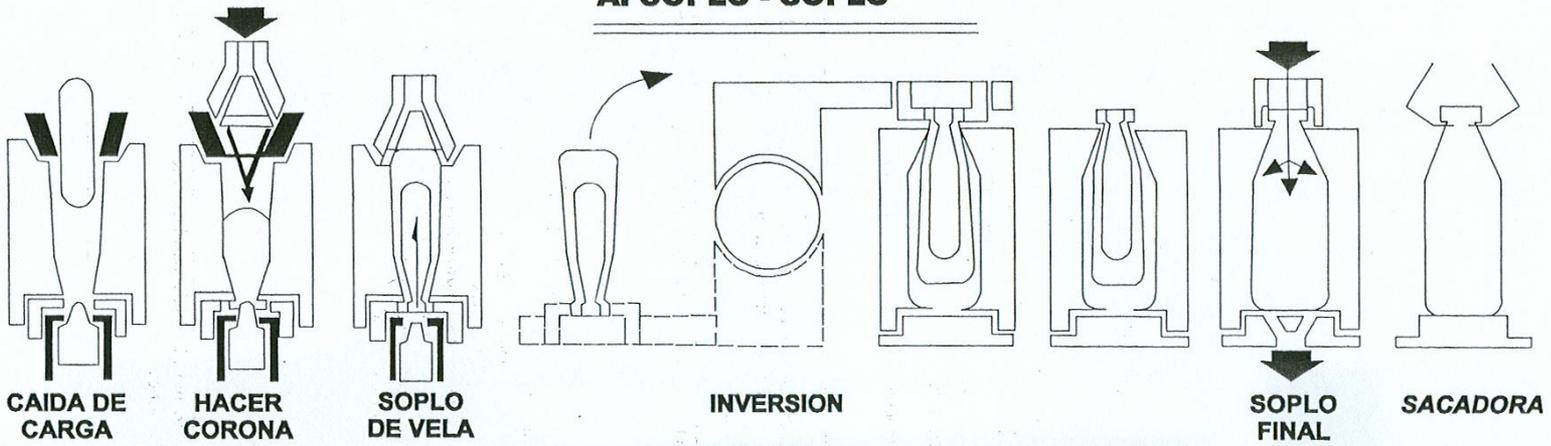


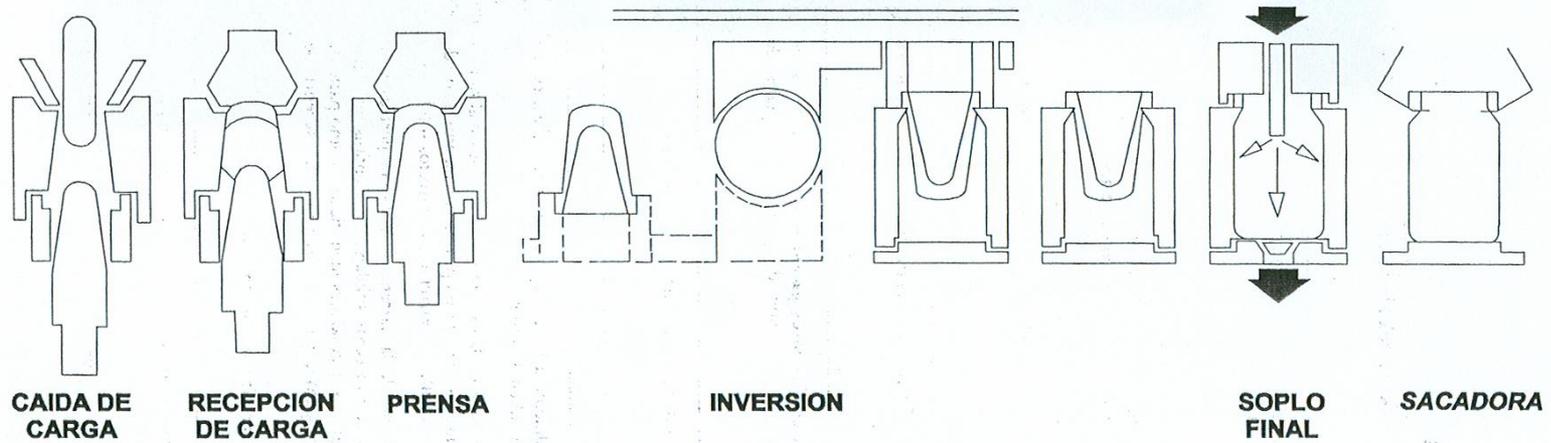
Figura Nº 3



### A. SOPLO - SOPLO



### B. PRENSA - SOPLO



PROCESOS DE FABRICACION DE ENVASES DE VIDRIO

FIGURA No. VII-1

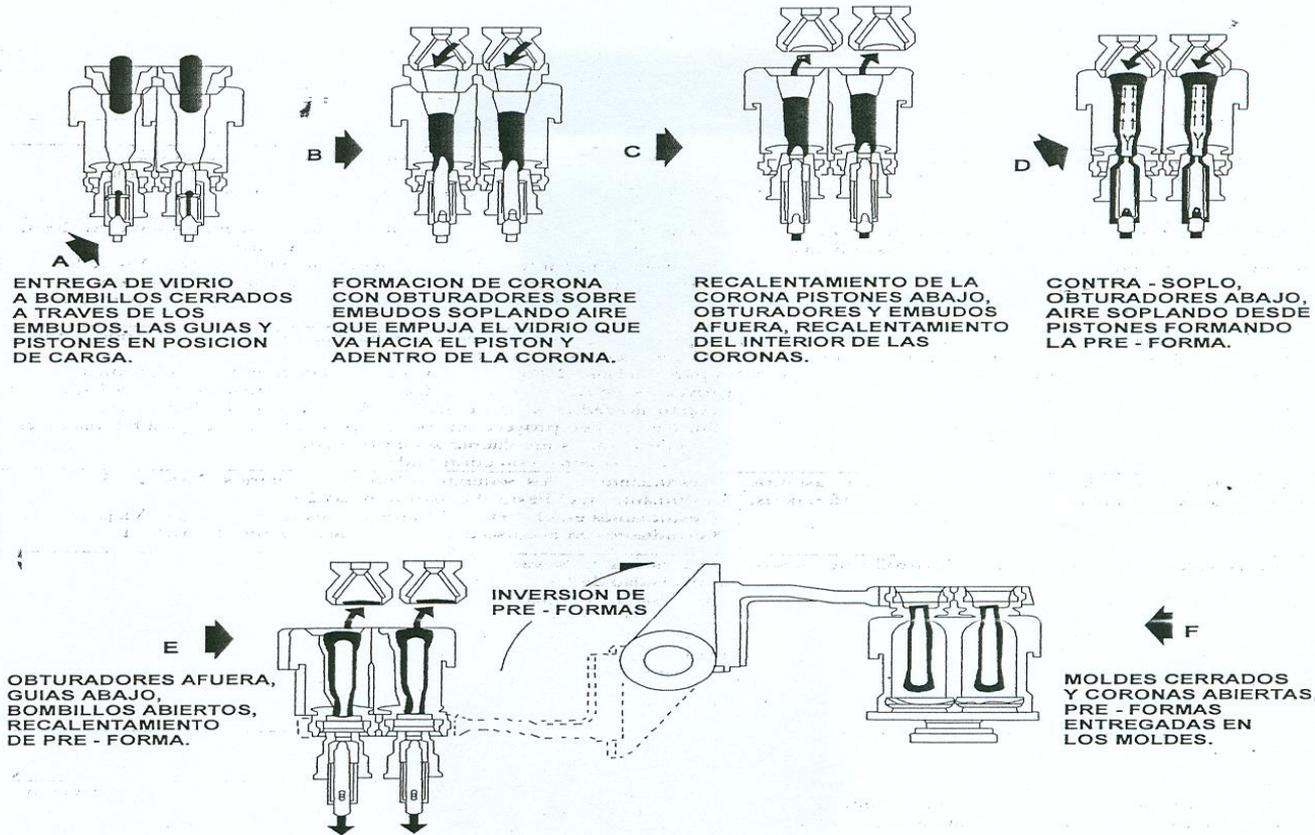
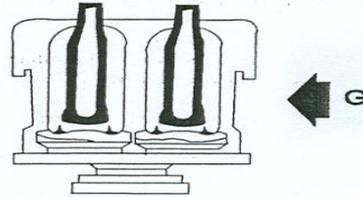
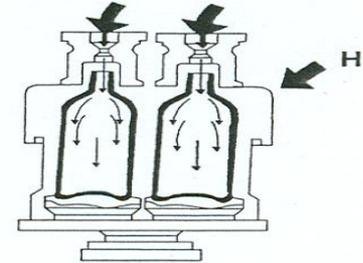


DIAGRAMA FUNCIONAL DEL CICLO DE PRE-FORMA Y DE FORMACION DE ENVASES POR MEDIO DEL PROCESO SOPLO - SOPLO

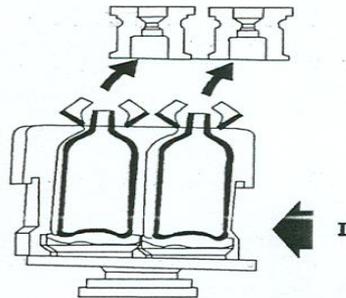
FIGURA No. VII-2A



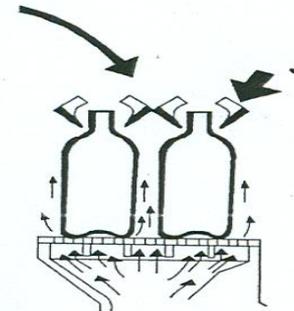
LA PRE - FORMA SE RECALIENTA Y SE ELONGA.



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



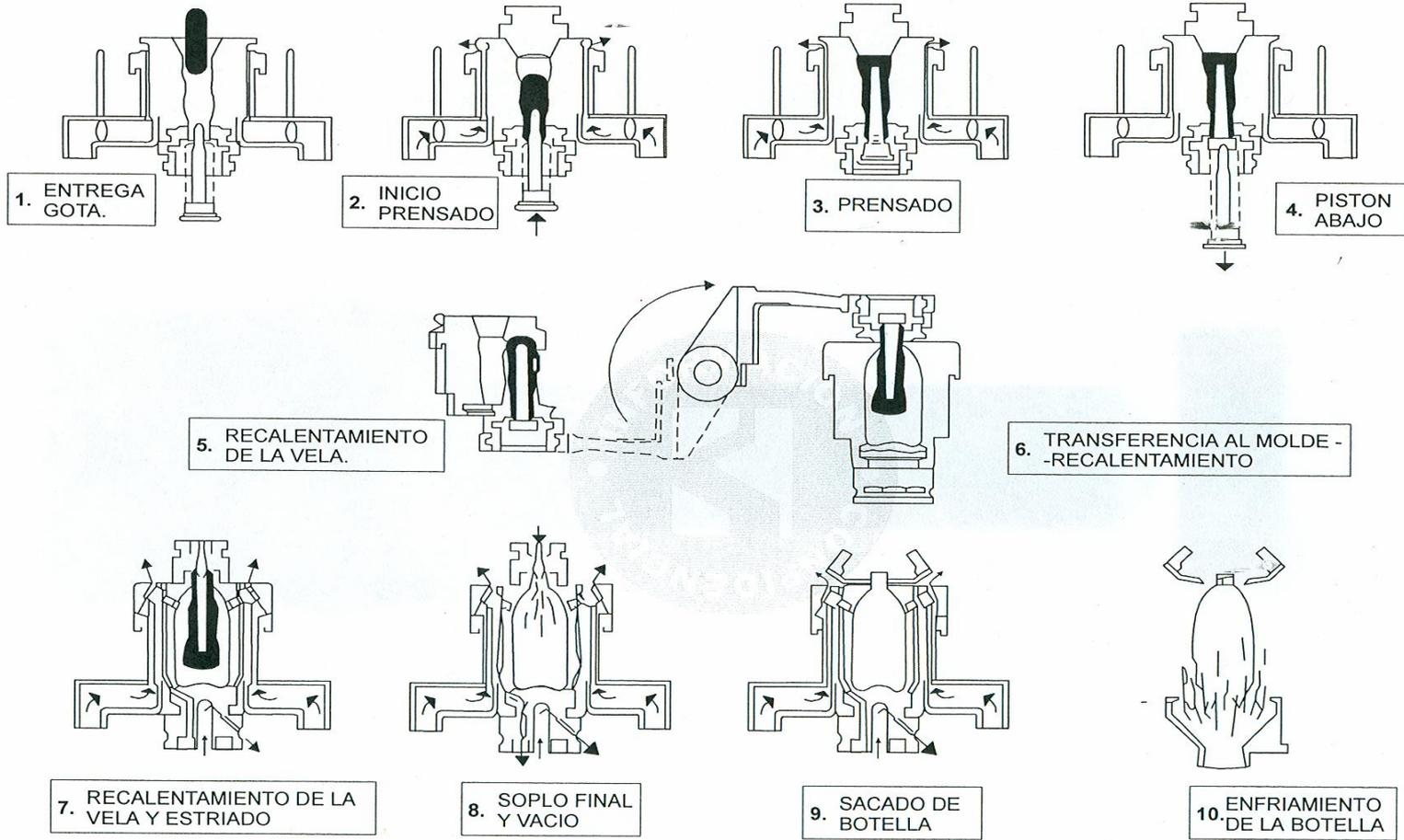
CABEZAS DE SOPLO AFUERA, MOLDES ABIERTOS, BOTELLAS TOMADAS Y SACADAS CON DEDOS SACADORES.



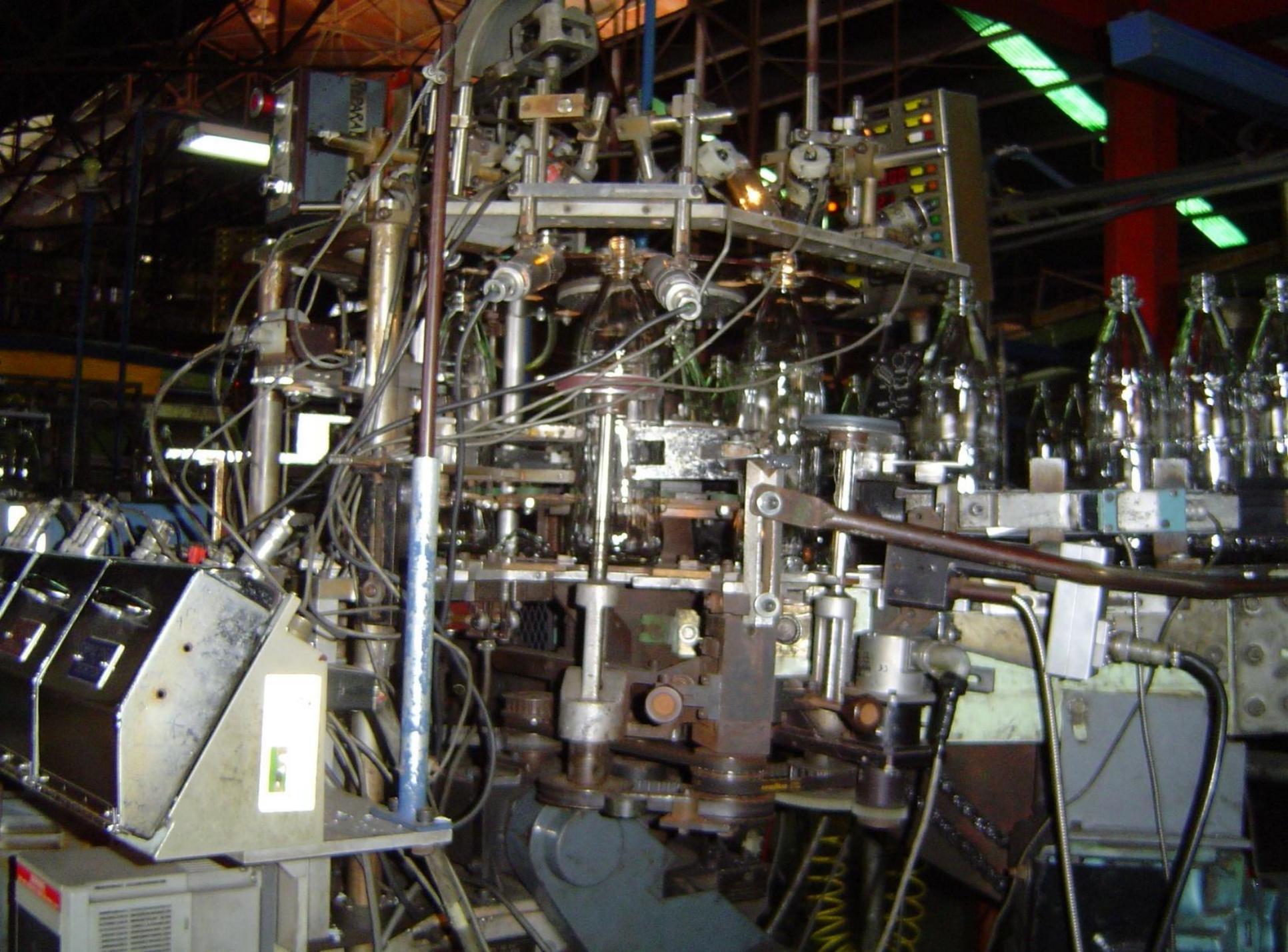
BOTELLAS MANTENIDAS POR LOS DEDOS SACADORES SOBRE LA PLACA MUERTA, SOLTADAS EN LA PLACA MUERTA Y EMPUJADAS HACIA LA BANDA ACARREADORA POR EL EMPUJADOR DE 90° .

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

FIGURA No. VII-2B



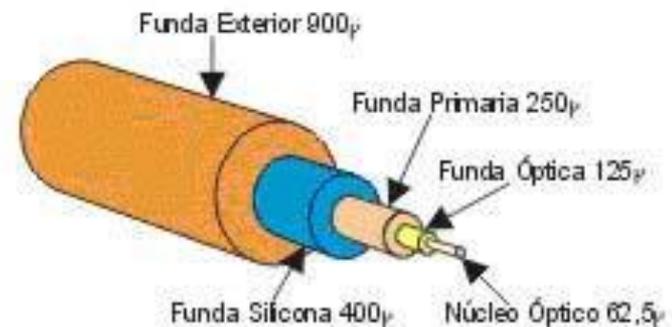
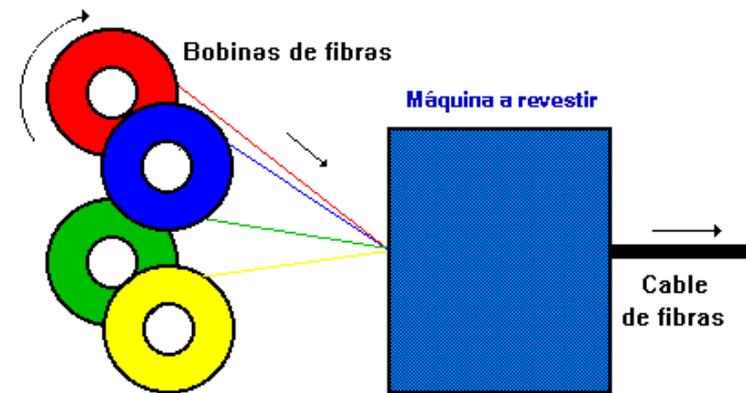
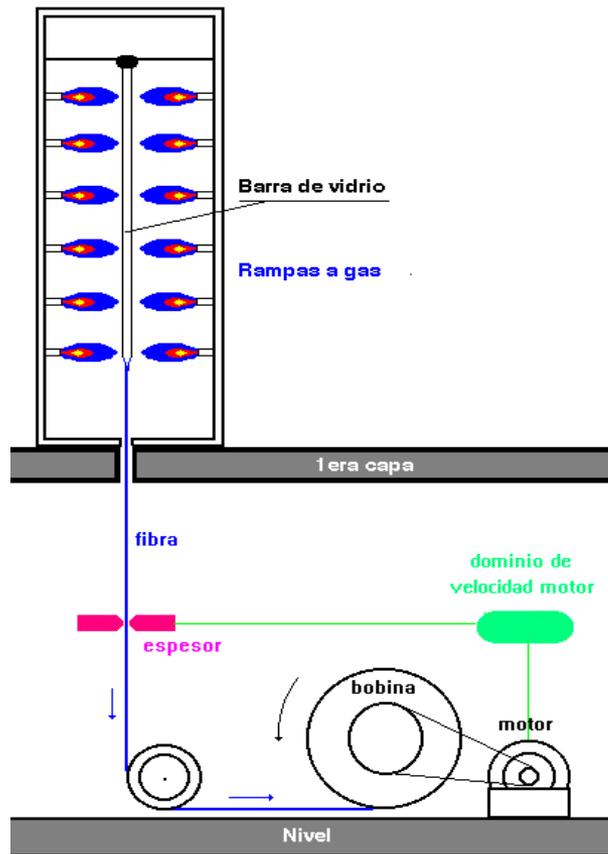
**CICLO DE FABRICACION DE BOTELLA EN EL PROCESO PRESNA - SOPLO BOCA ANGOSTA  
ENFRIAMIENTO AXIAL  
FIGURA No. VII-6**

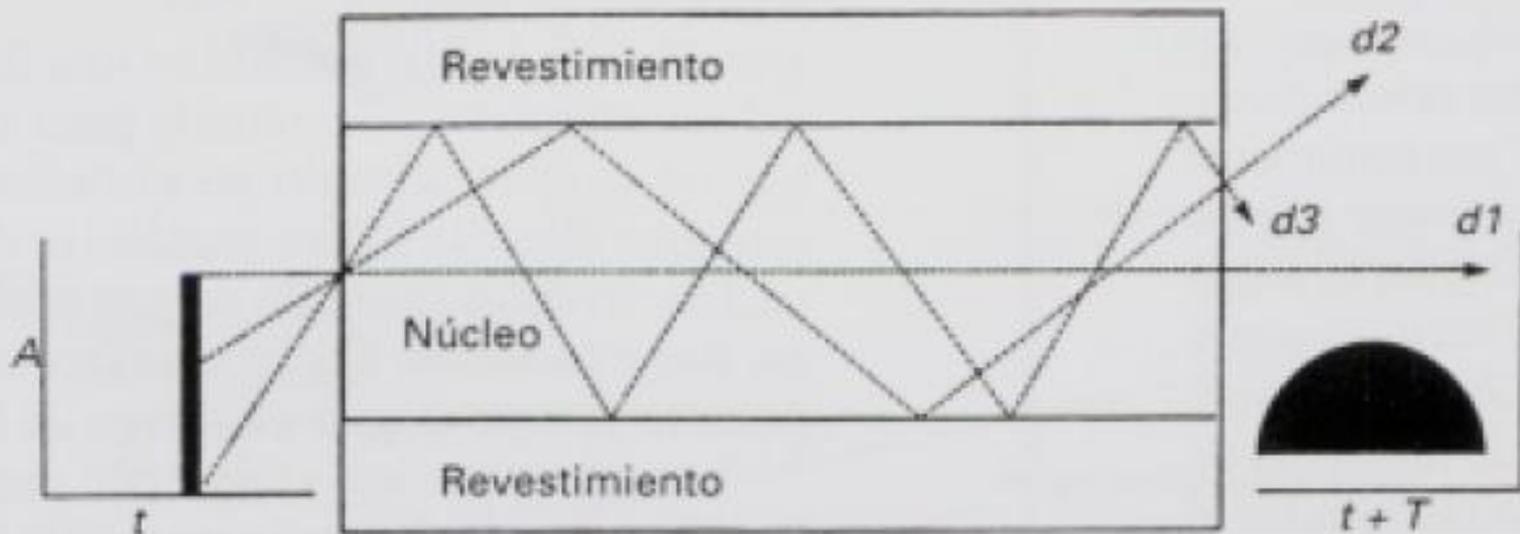


## Color de los vidrios

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

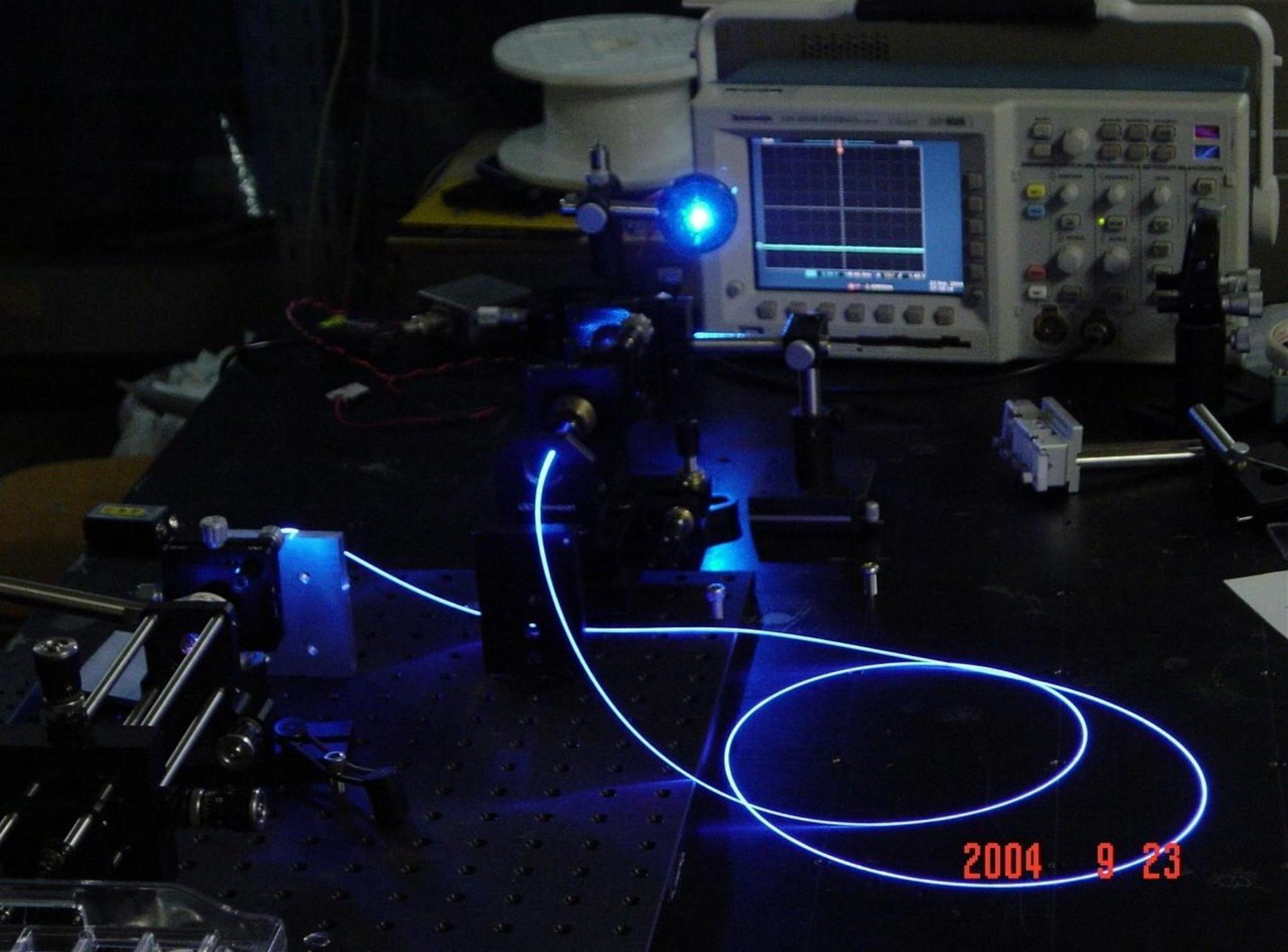
# SiO<sub>2</sub> (fibra óptica)





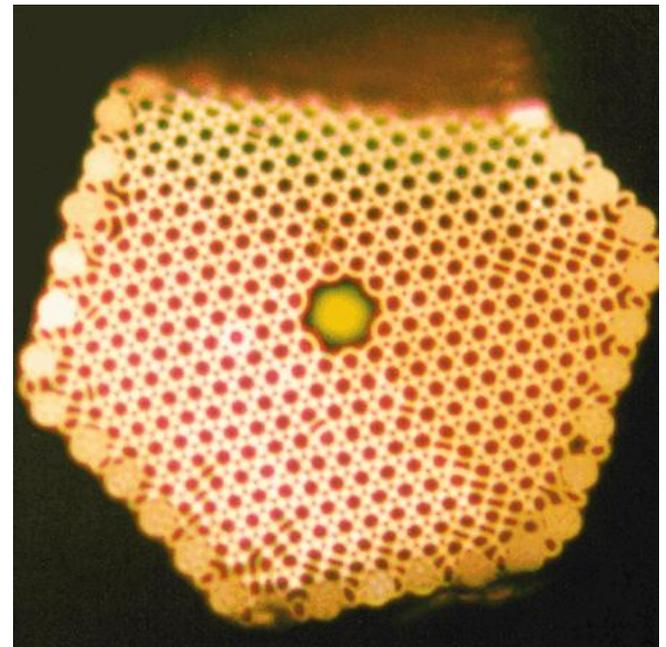
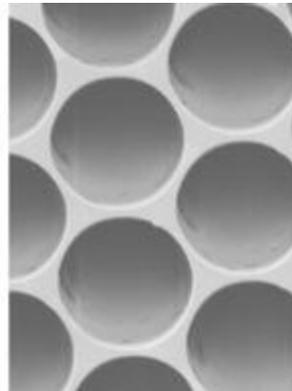
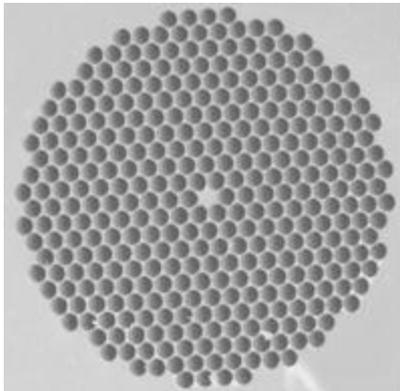
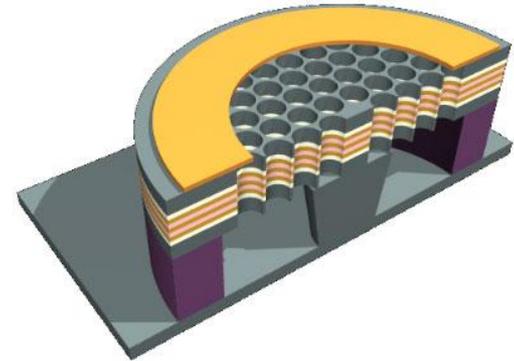
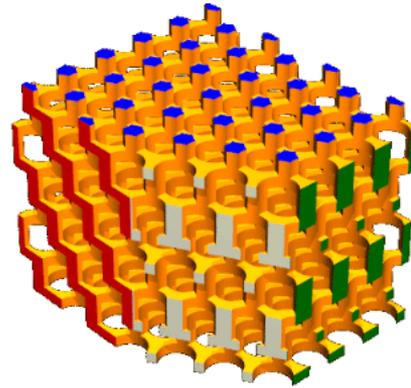
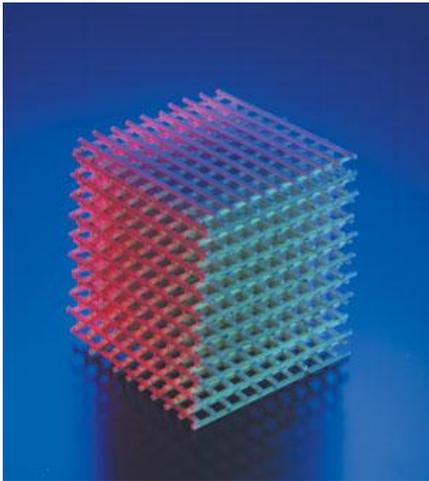
Fibra óptica de índice escalón

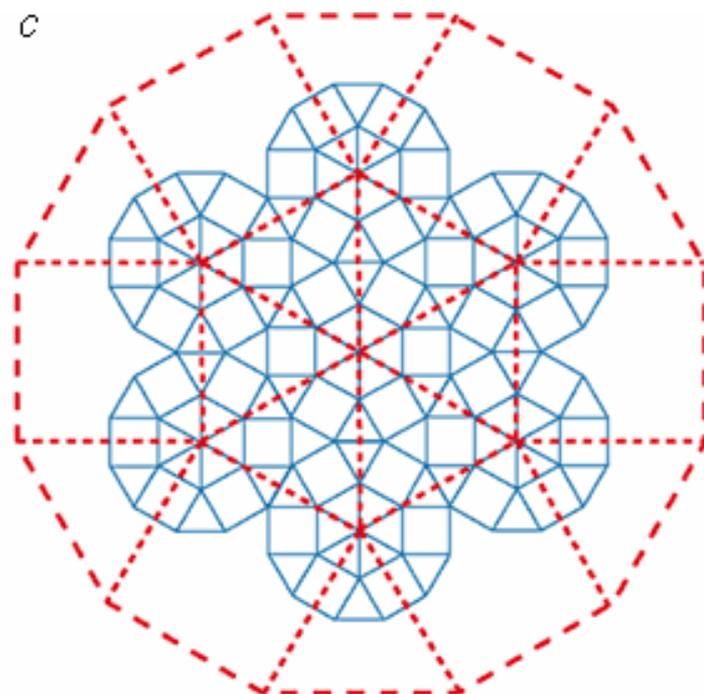
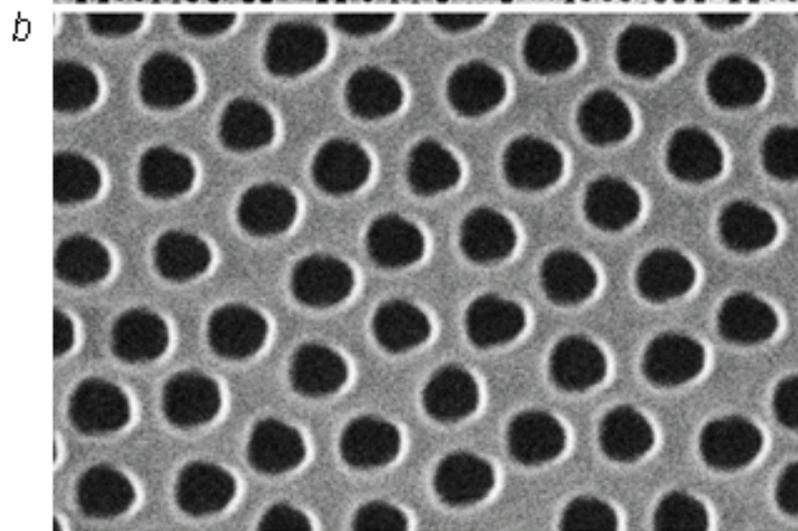
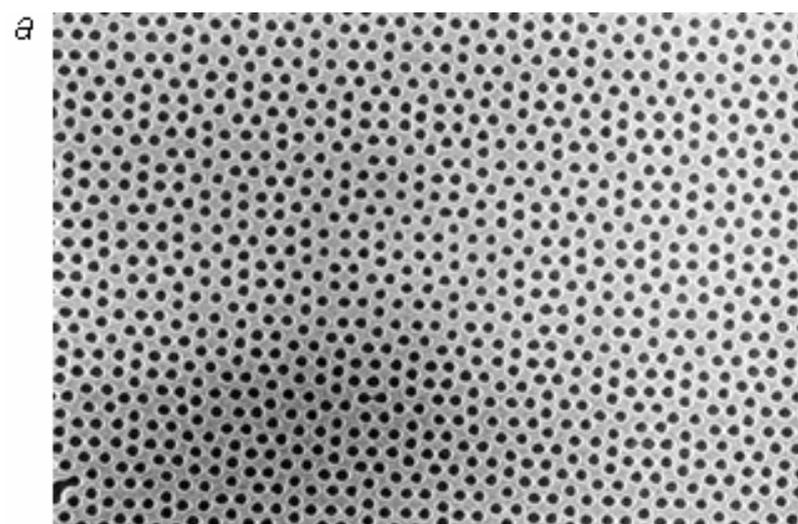
Ensanchamiento del pulso en un tiempo  $T$



2004 9 23

# IMAGENES DE CRISTALES FOTONICOS



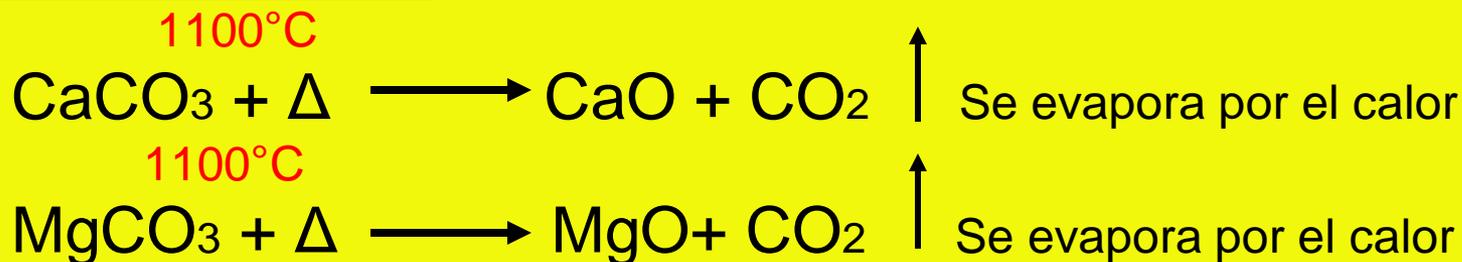


# Materiales hidráulicos

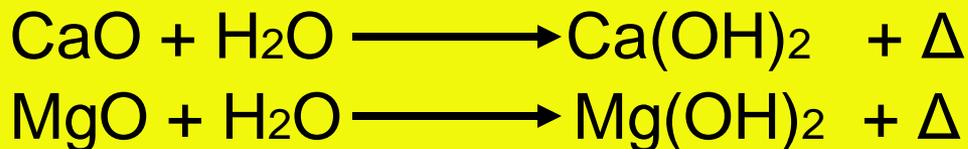
- Cal:  **$\text{CaCO}_3$  y  $\text{MgCO}_3$**
- Yeso:  **$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$**
- Cemento:  **$3 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$**   
 **$2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$**   
 **$3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$**   
 **$4 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$**

# Carbonatos (cal)

- **Calcinado:**

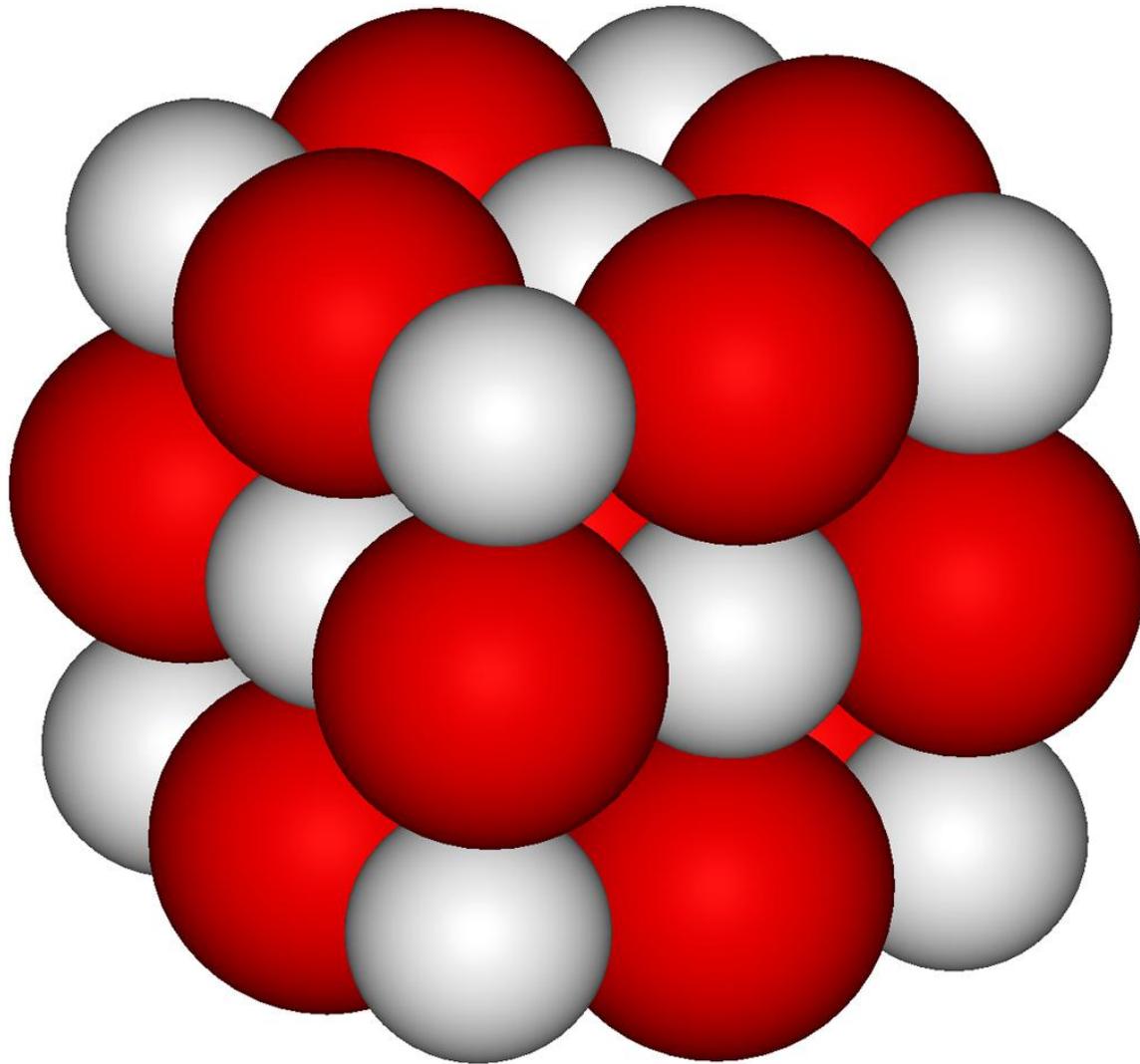


- **Hidratado:**



- **Plástico:**



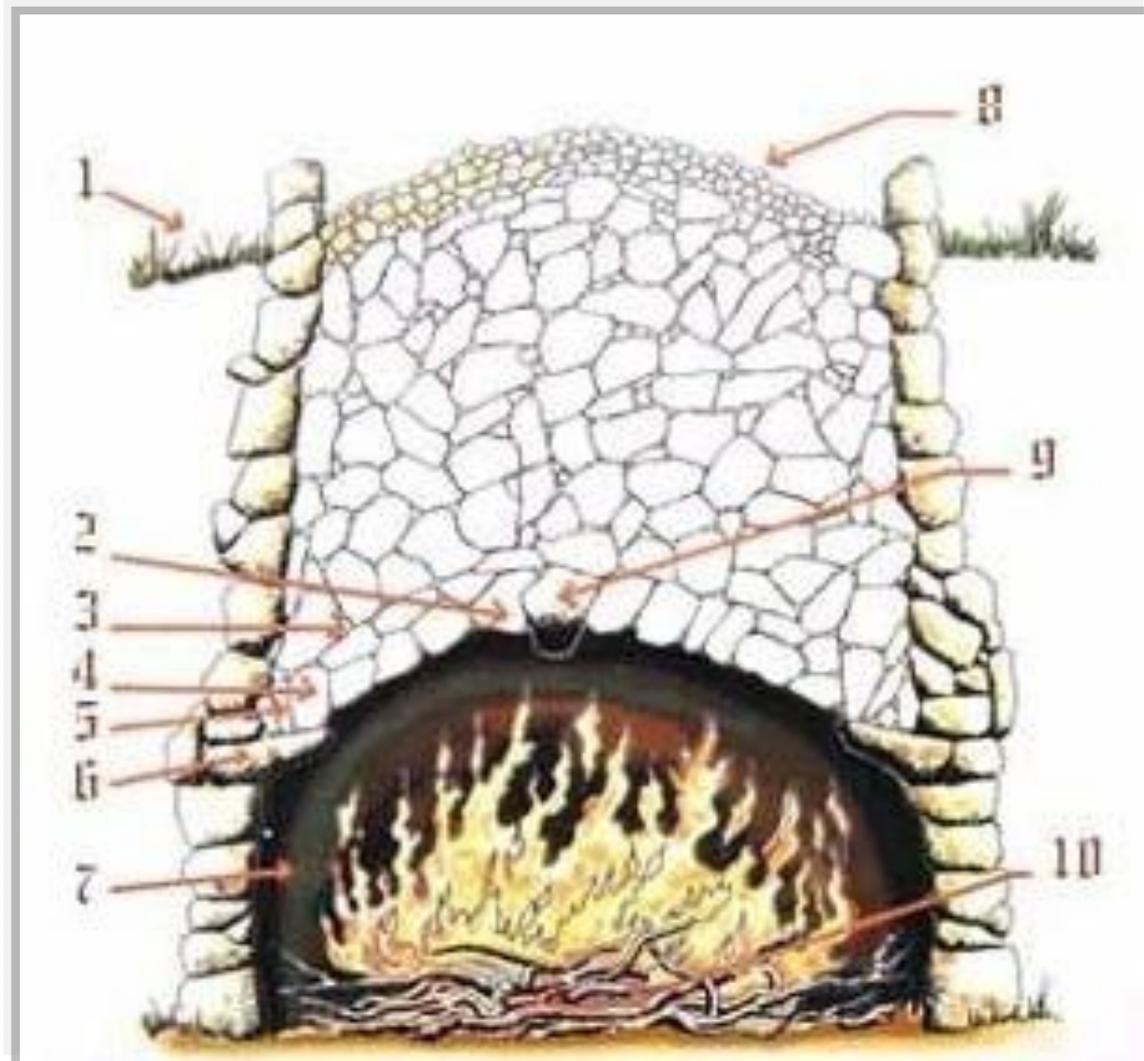


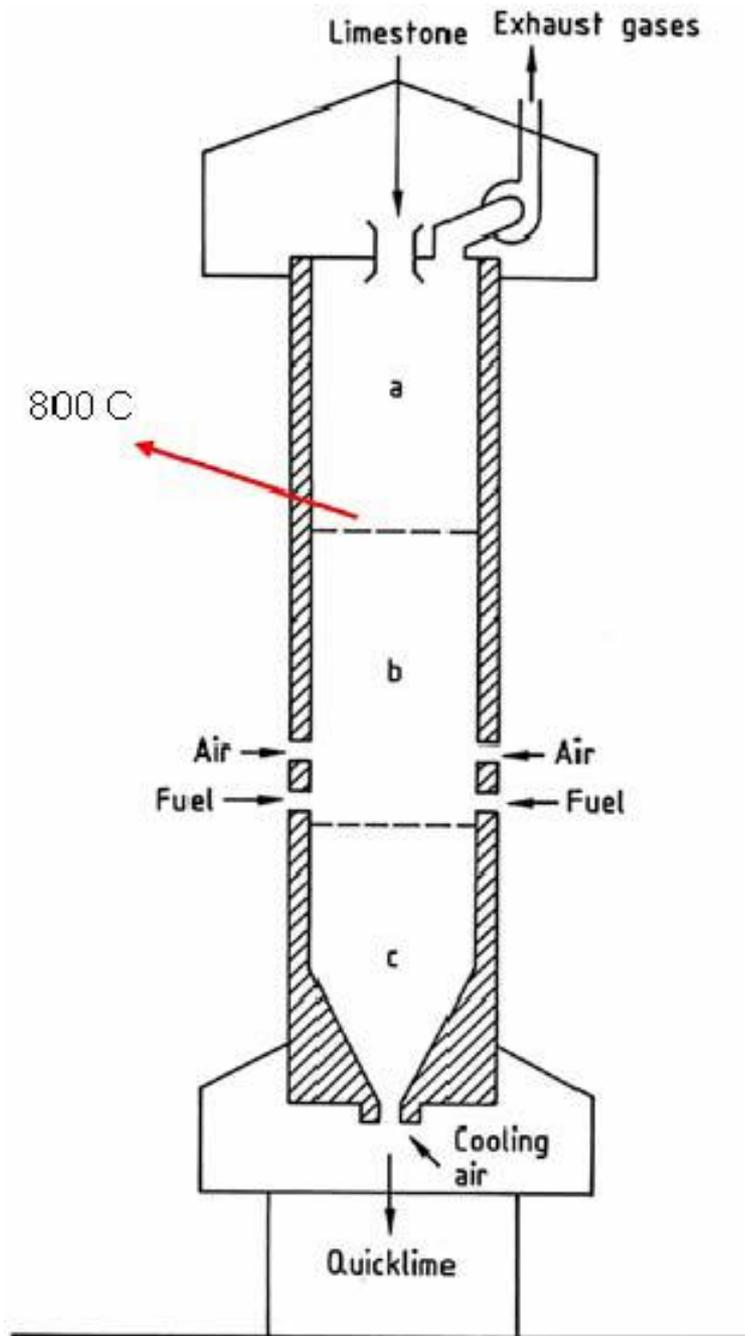
**ETRUCTURA CRISTALINA DE LA CAL**  
 **$\text{CaCO}_3 + \text{calor} \longrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$**

**Clasificación de calizas según el  
contntenido de Carbonato de Calcio  
(CaCO<sub>3</sub>)**

Categoría	Porcentaje CaCO <sub>3</sub>
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.

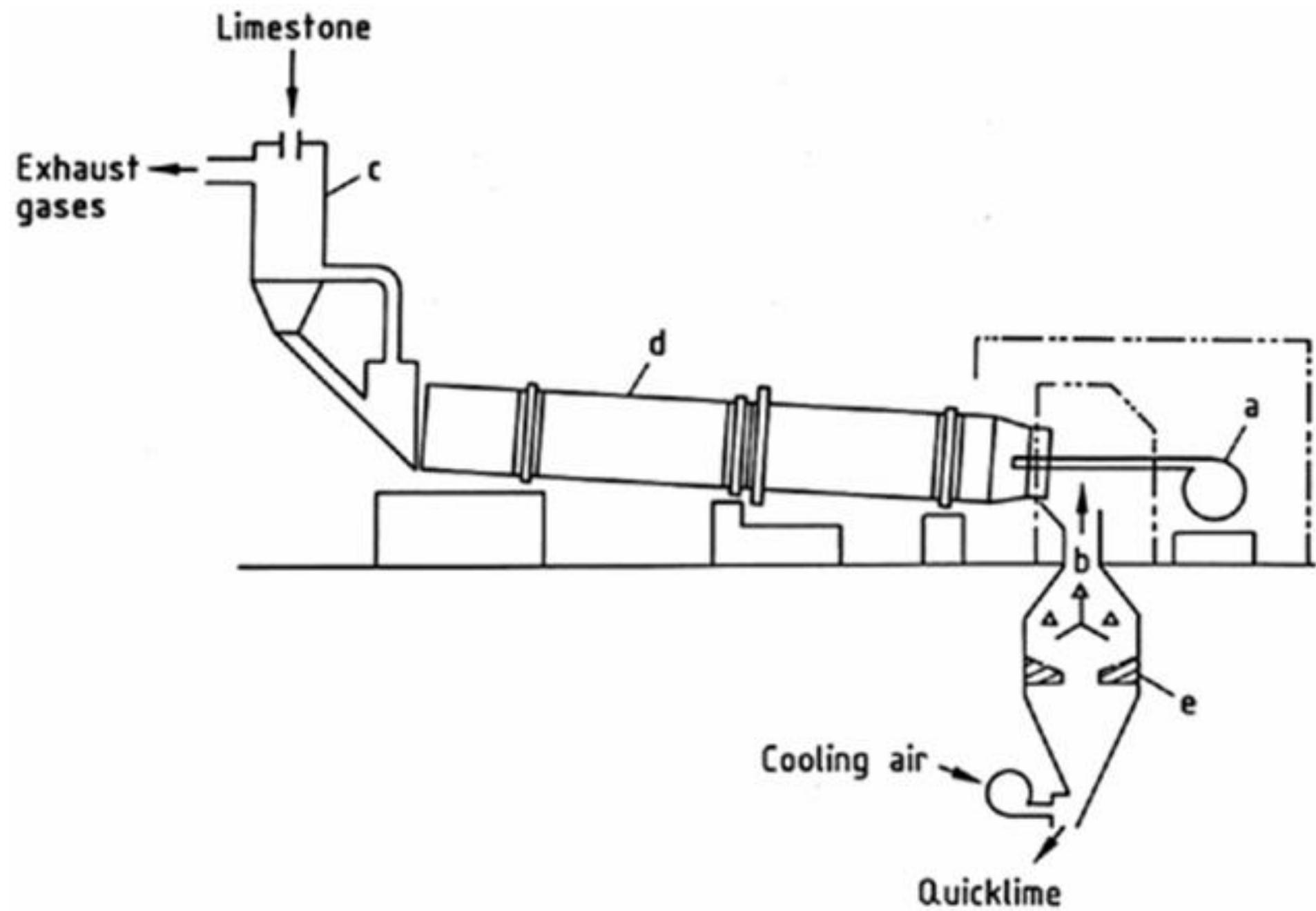




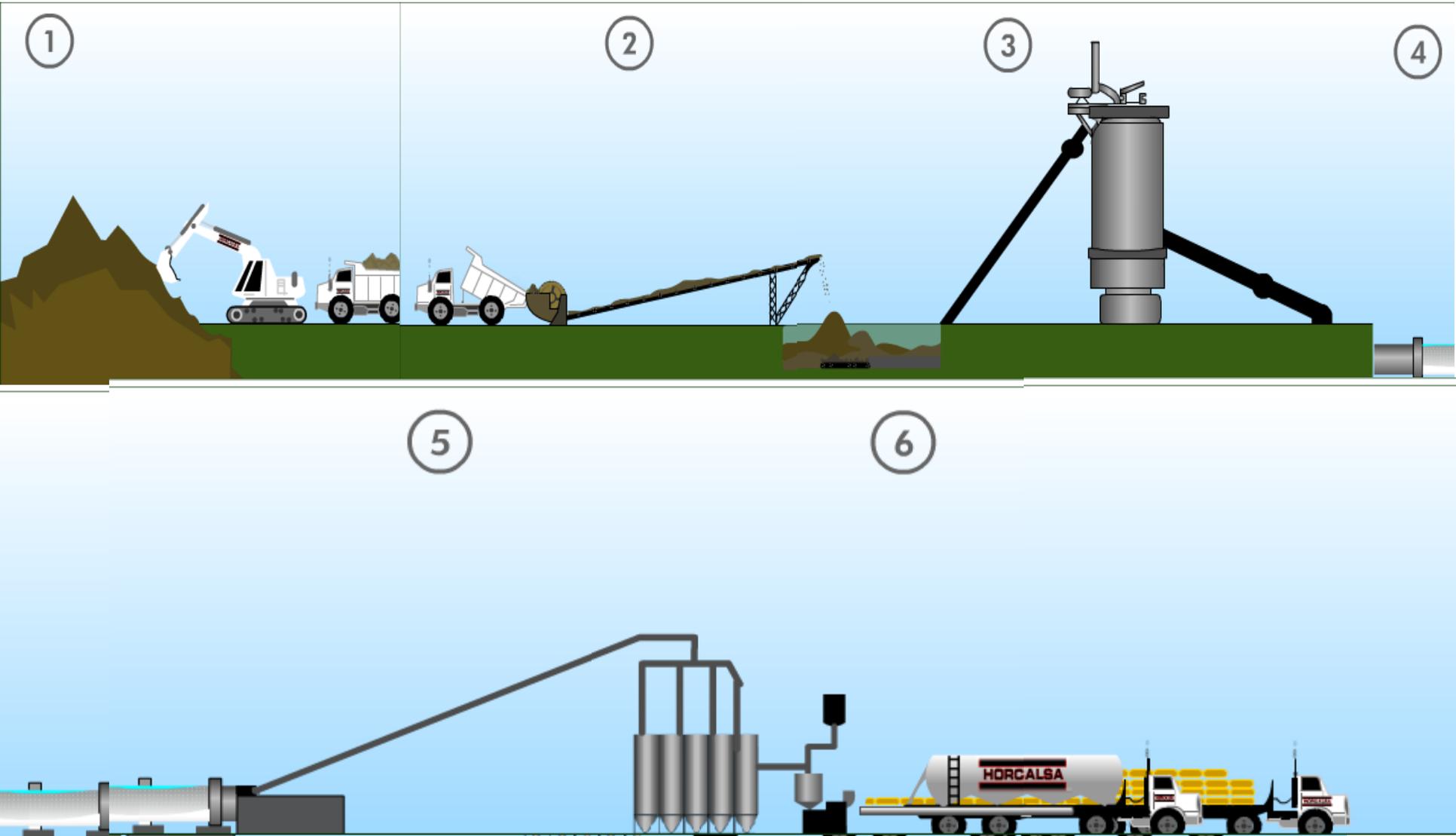
**Esquema de un horno de calcinación vertical (kiln).**

- 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:**

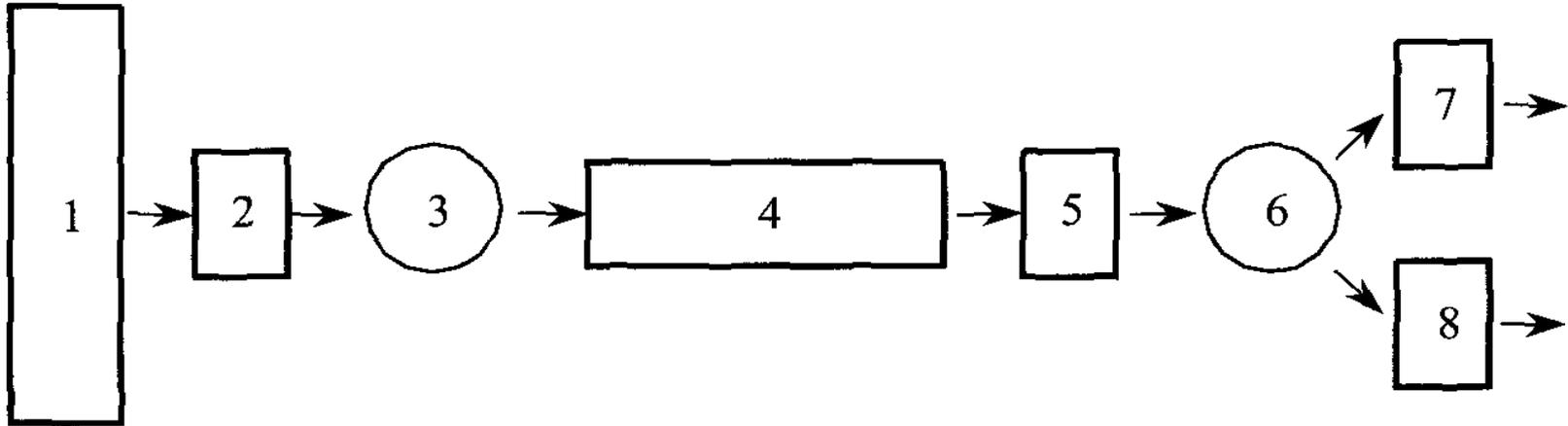
$120^{\circ}\text{C}$



**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

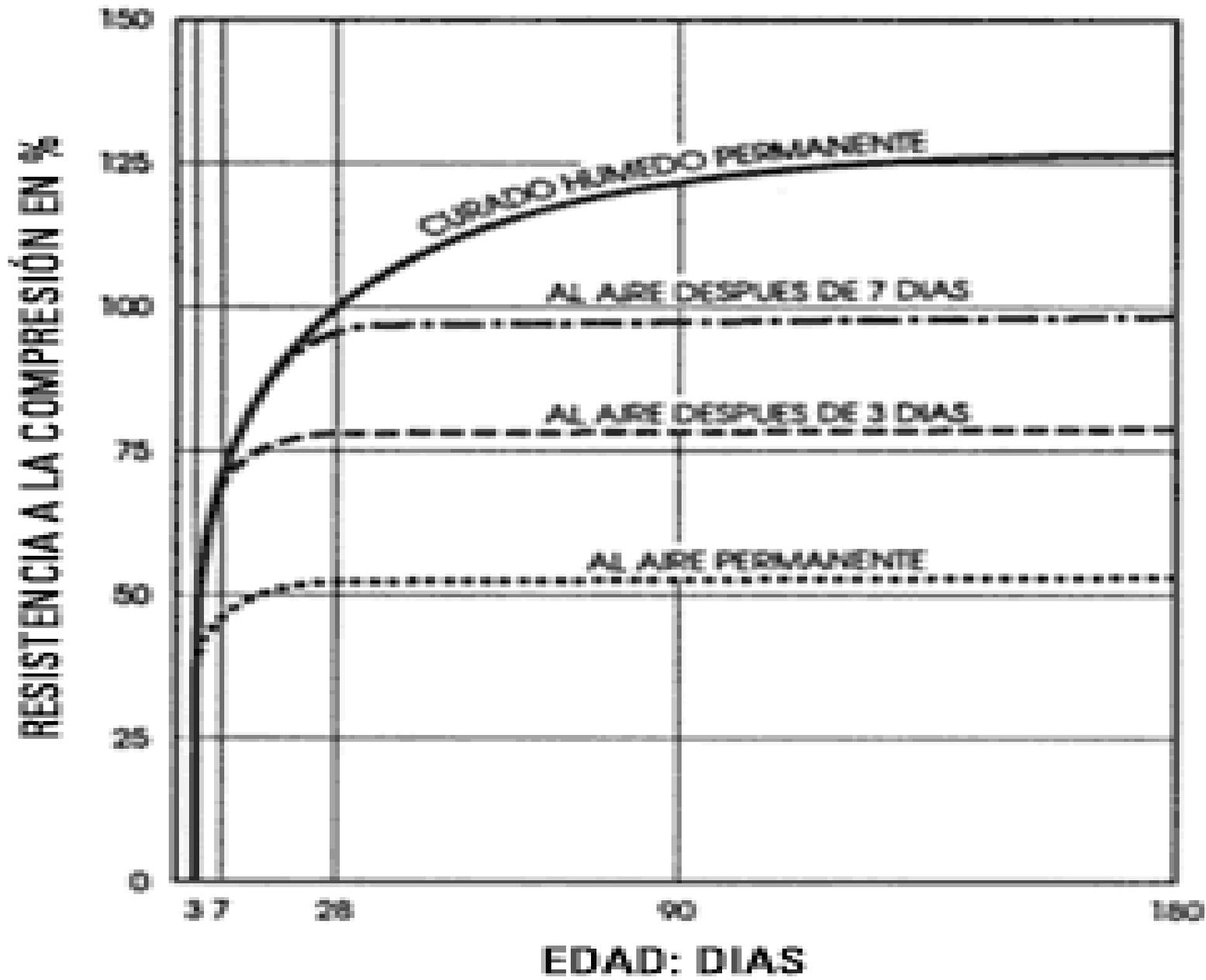
## COMPONENTES PRINCIPALES

<b>Nombre</b>	<b>Composición</b>	<b>Fórmula abreviada</b>	<b>Nombre del mineral</b>
<b>-Silicato tricálcico</b>	<b>3 CaO. SiO<sub>2</sub></b>	<b>C<sub>3</sub>S</b>	<b>Alita</b>
<b>-Silicato bicálcico</b>	<b>2 CaO. SiO<sub>2</sub></b>	<b>C<sub>2</sub>S</b>	<b>Belita</b>
<b>-Aluminato tricálcico</b>	<b>3 CaO. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>C<sub>3</sub>A</b>	<b>Celita</b>
<b>-Ferrito aluminato tetracálcico</b>	<b>4 CaO. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>C<sub>4</sub>AF</b>	

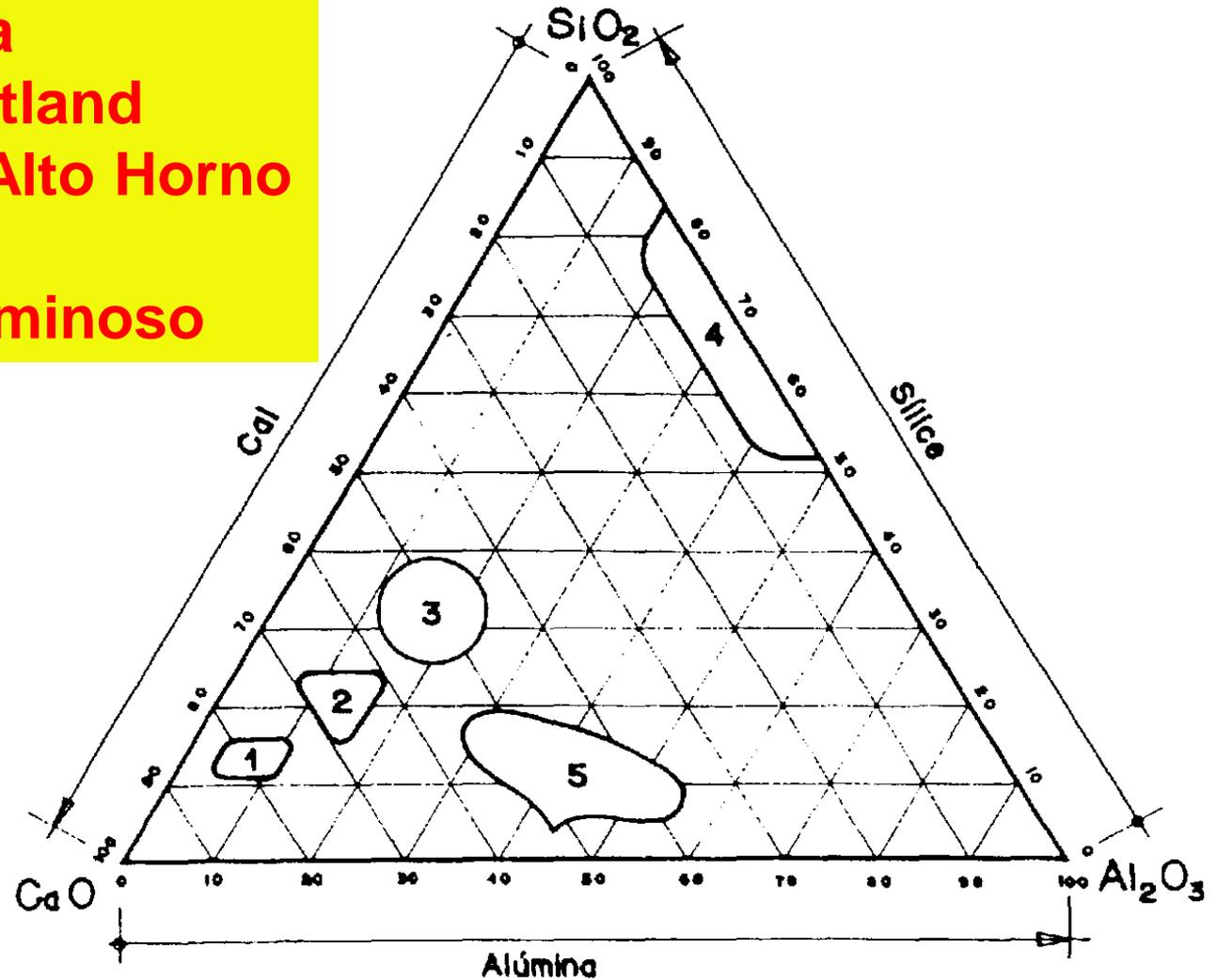
## La composición química de óxidos de los cementos portland, en general, es la siguiente:

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

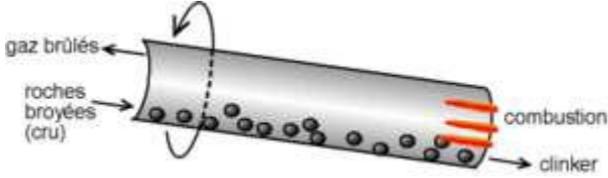
# Influencia del Curado Húmedo en la Resistencia.



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

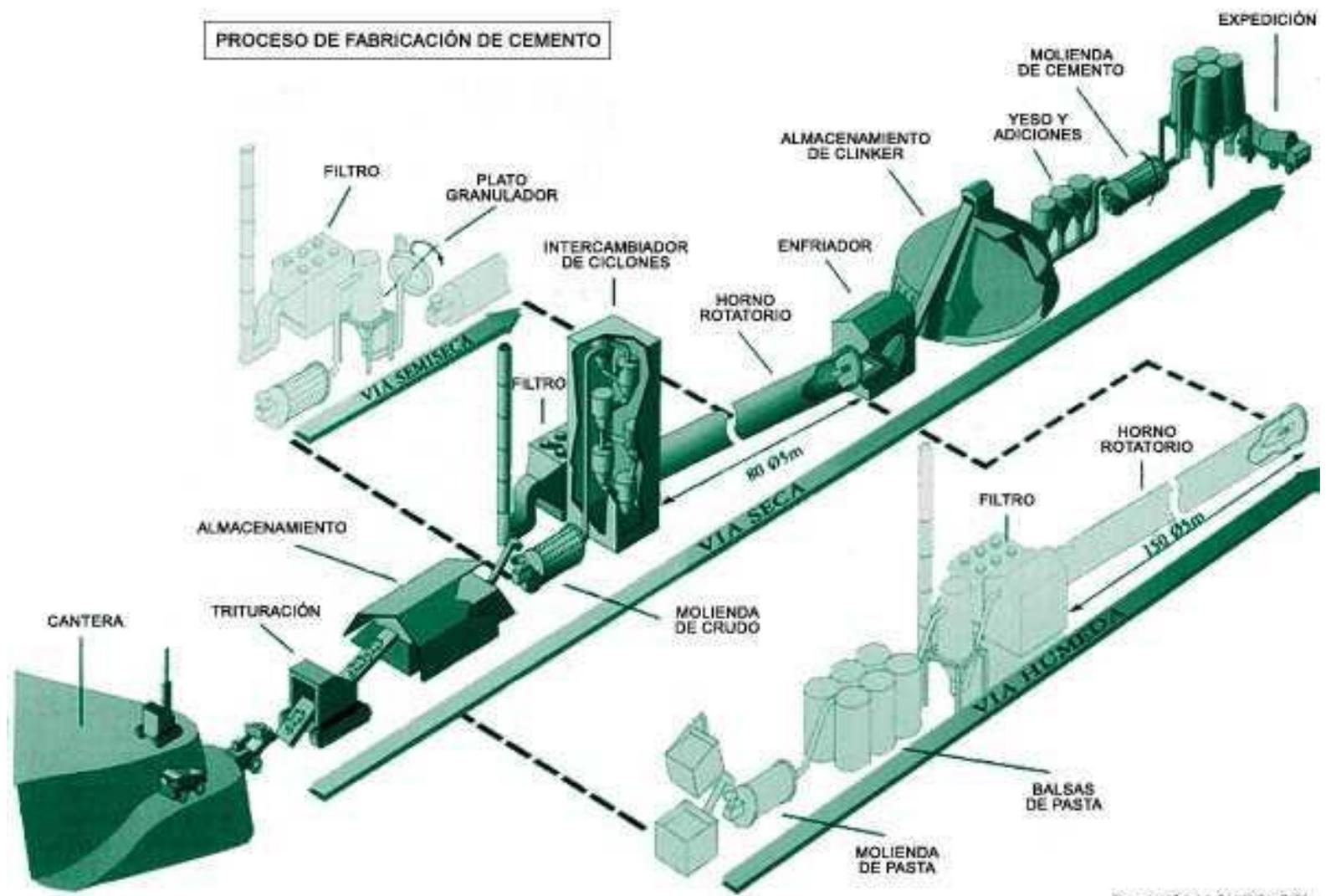


**Diagrama de Rankin**

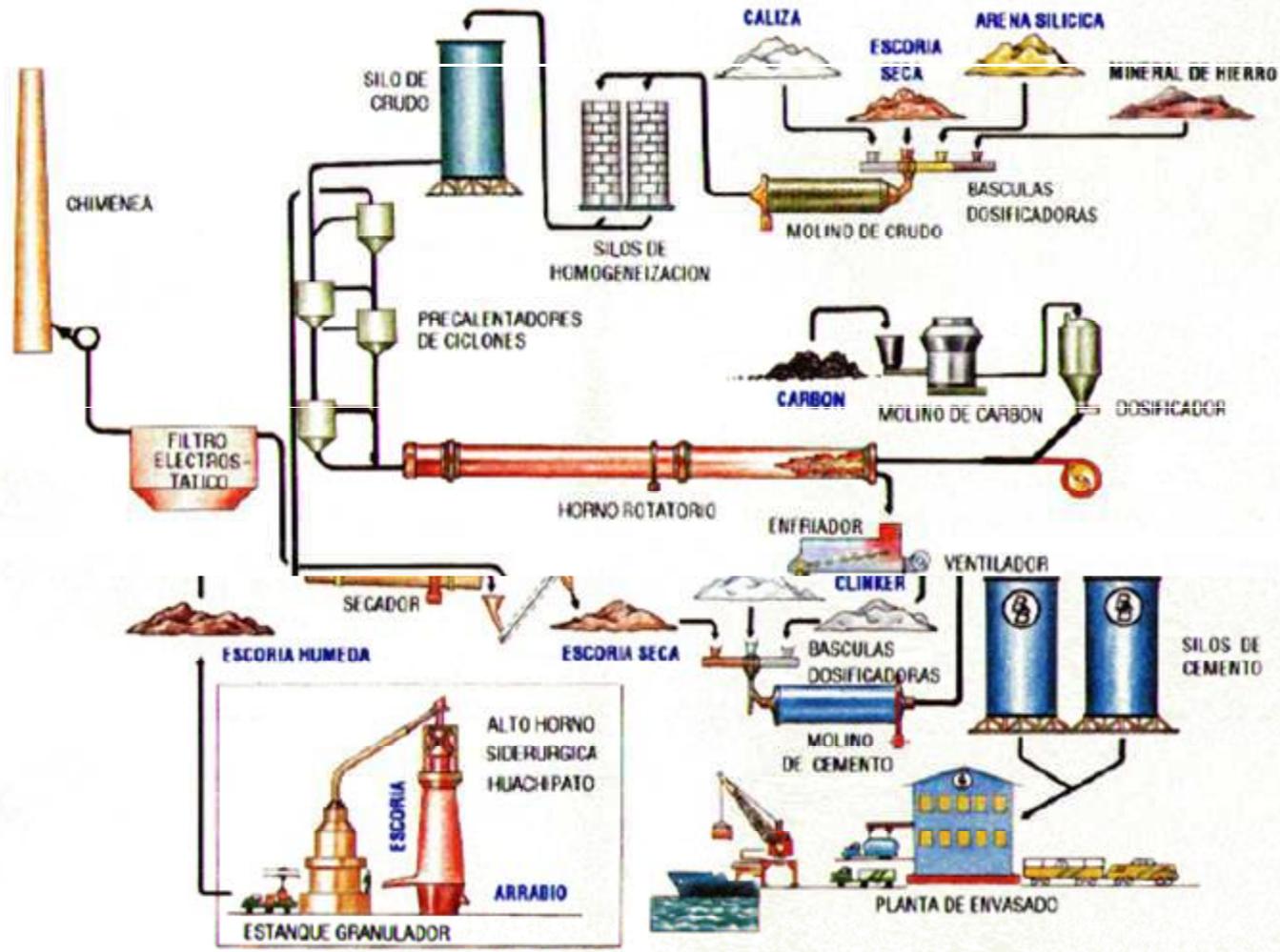


# Flujograma del cemento

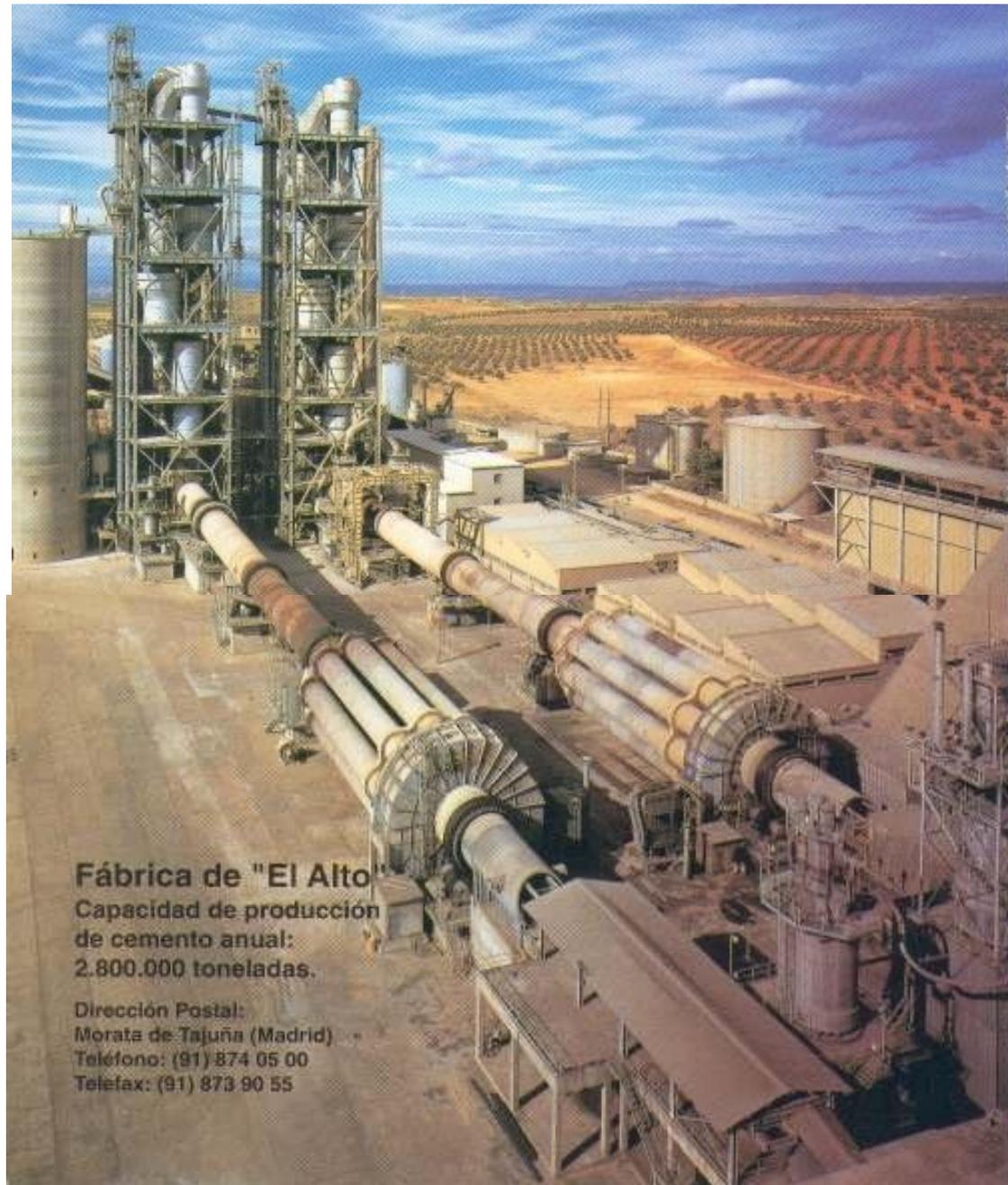
PROCESO DE FABRICACIÓN DE CEMENTO



Fuente: CAILLON ROUGE/ ROGER RIVET

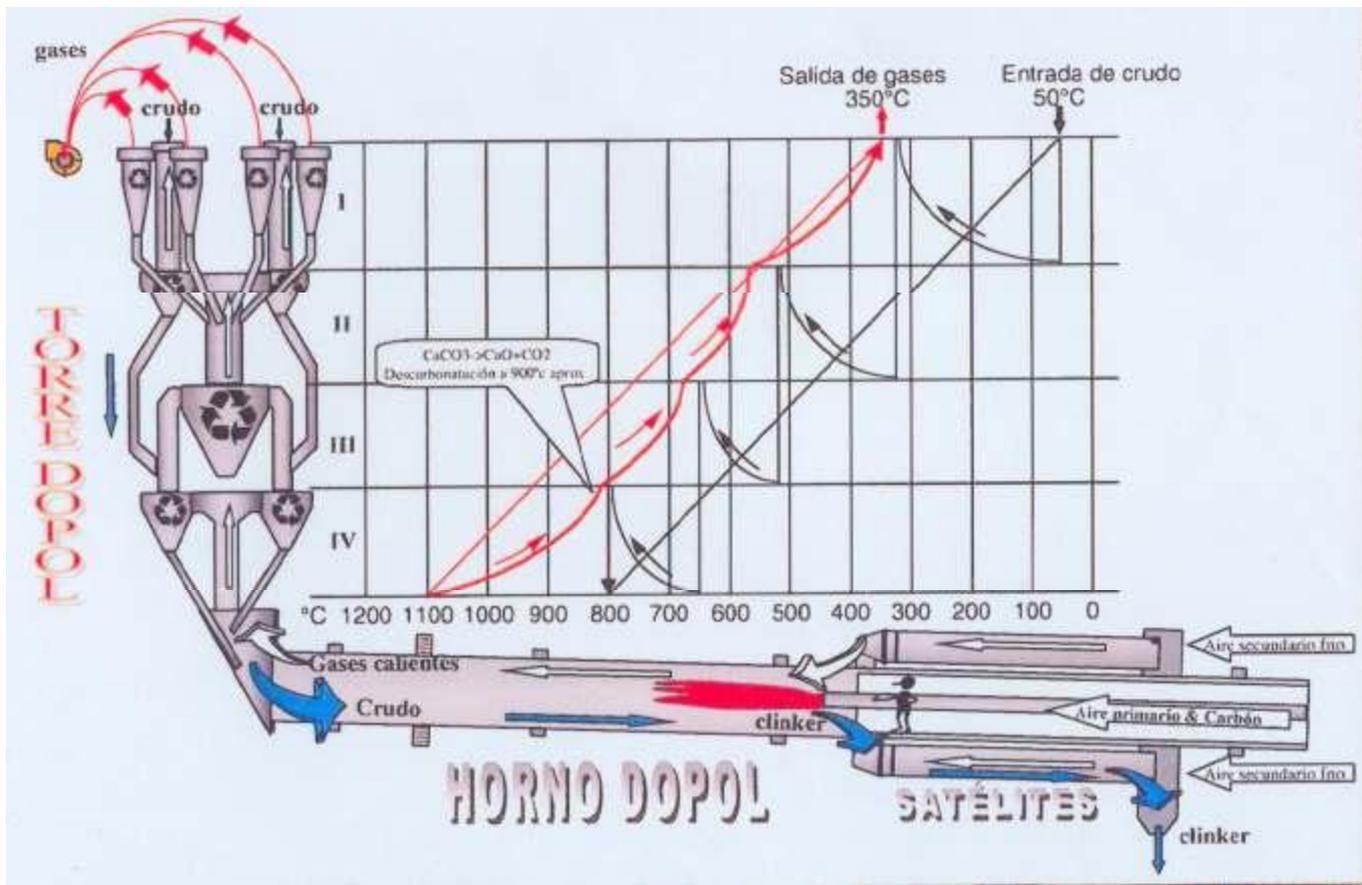


**Proceso de fabricación del cemento.**

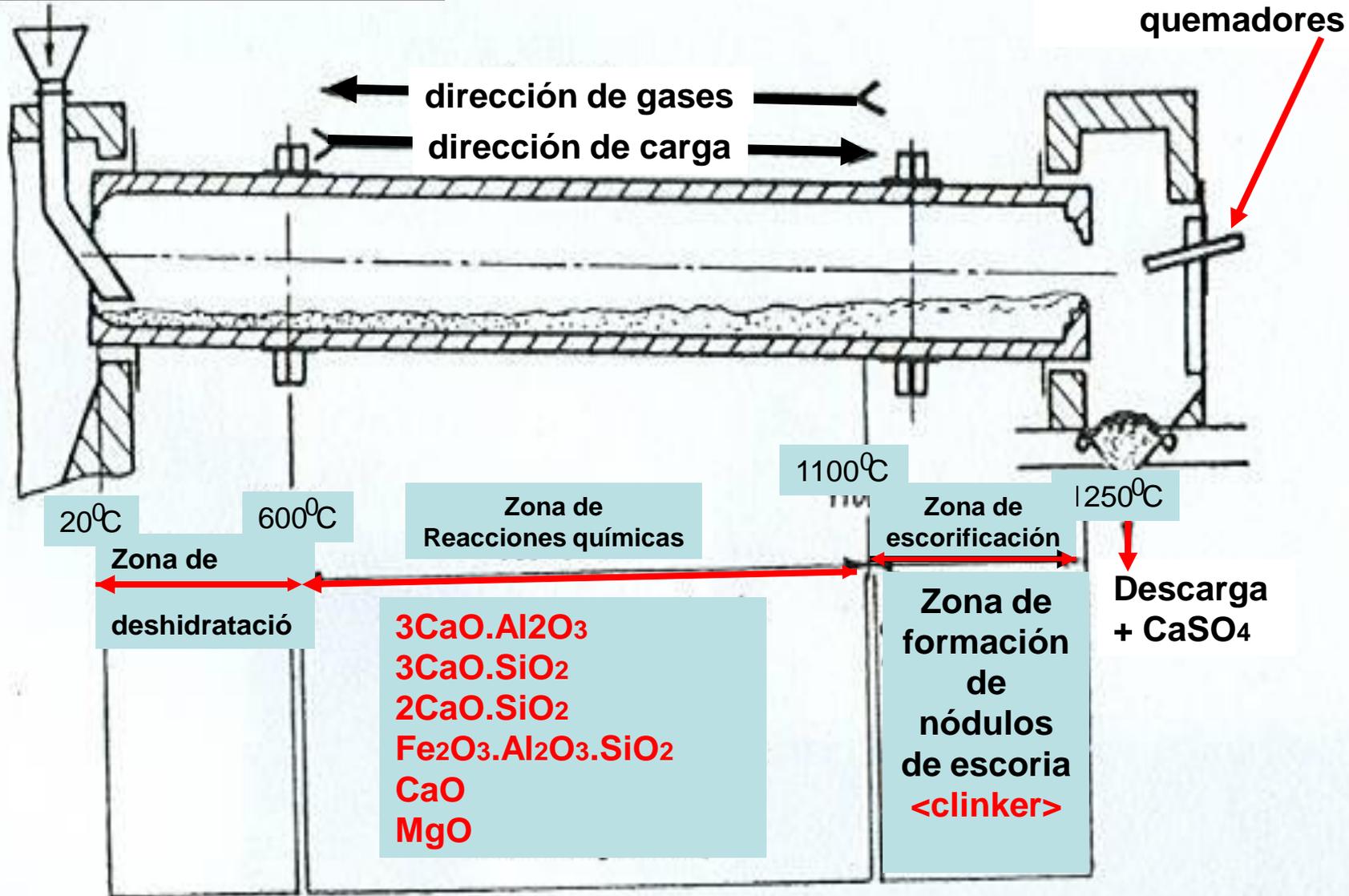


**Fábrica de "El Alto"**  
Capacidad de producción  
de cemento anual:  
2.800.000 toneladas.

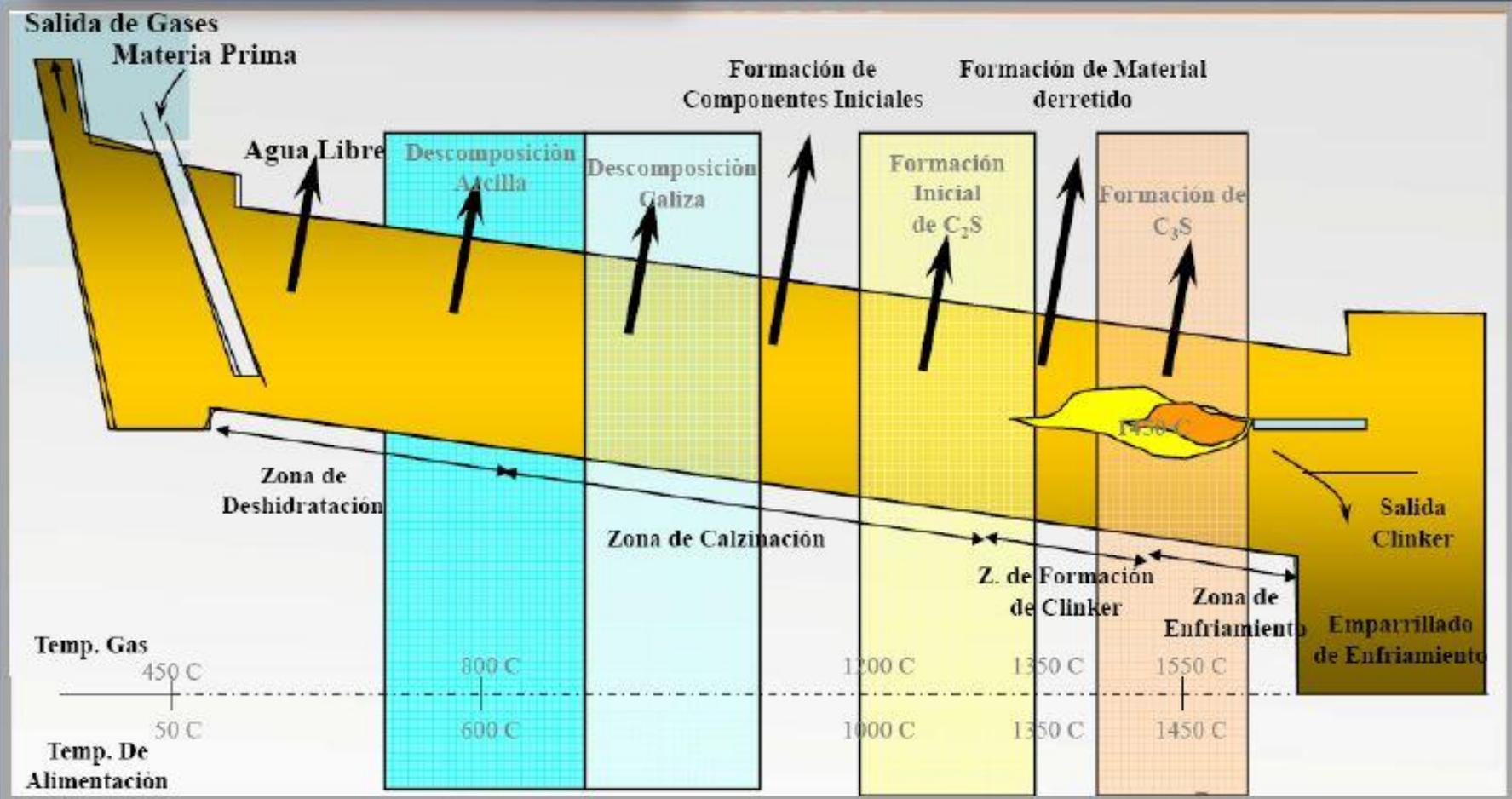
Dirección Postal:  
Morata de Tajuña (Madrid)  
Teléfono: (91) 874 05 00  
Telefax: (91) 873 90 55



**Carga:**

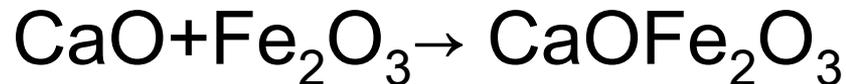
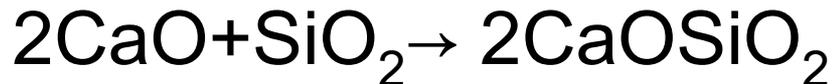
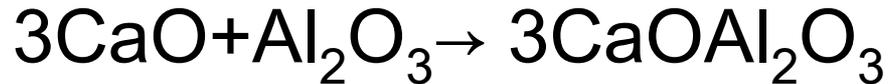


## Reacciones en un horno rotatorio



# 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:  $\text{CaO}$ , cal, calcio. Se representa con C”.**
- 2) Oxido de silicio:  $\text{SiO}_2$ , sílica, silice. Se representa con S”.**
- 3) Oxido de aluminio :  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , alúmina. Se representa con A”.**
- 4) Oxido de hierro:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . .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	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$
Aluminoferrito tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$

TABLA 11.5. Composiciones de diferentes tipos de cemento Portland

<i>Tipo de cemento</i>	<i>Designación ASTM C150</i>	<i>Composiciones (% peso)*</i>			
		$\text{C}_3\text{S}$	$\text{C}_2\text{S}$	$\text{C}_3\text{A}$	$\text{C}_4\text{AF}$
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.

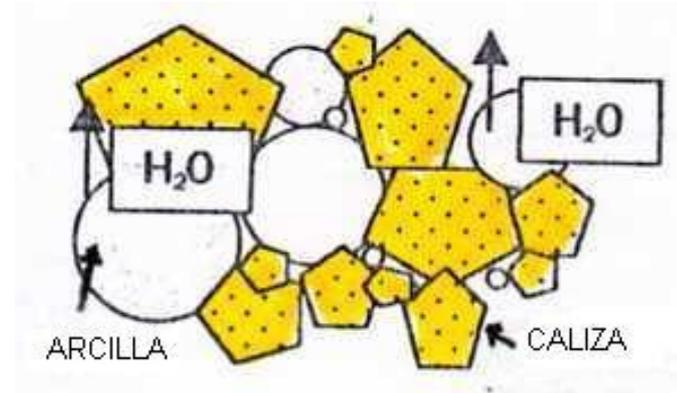
# Descripción del proceso

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 :

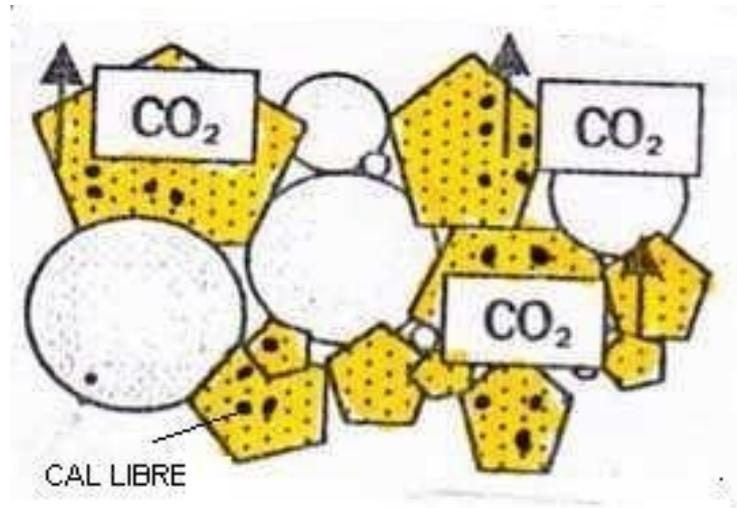
A temperaturas del orden de los 700 grados, se libera el agua presente en la estructura cristalina de las calizas y arcillas.

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



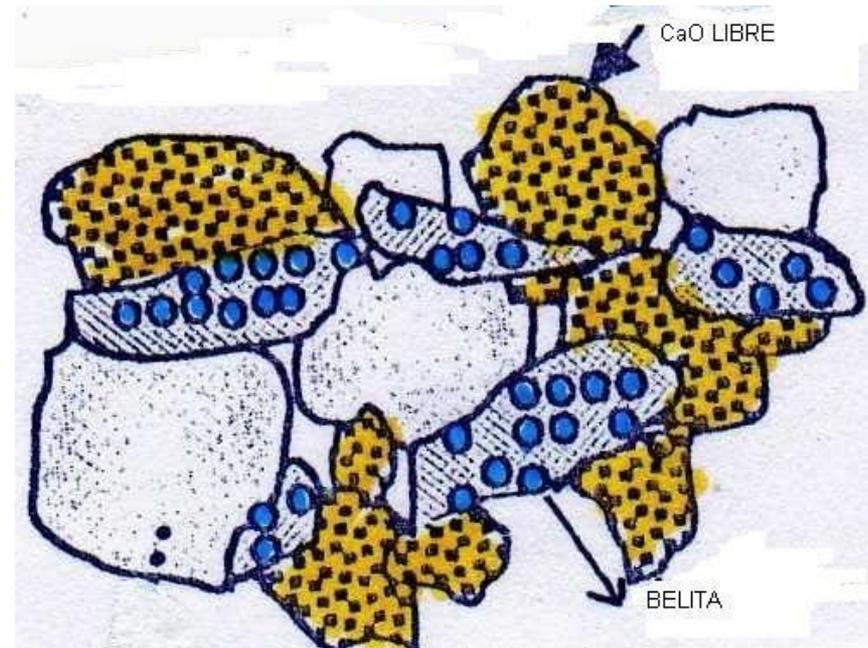
**2- Entre 700 y 900 °C :**  
**Continúa el proceso de calcinación,**  
**aumentando la presencia de cal**  
**libre.**

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



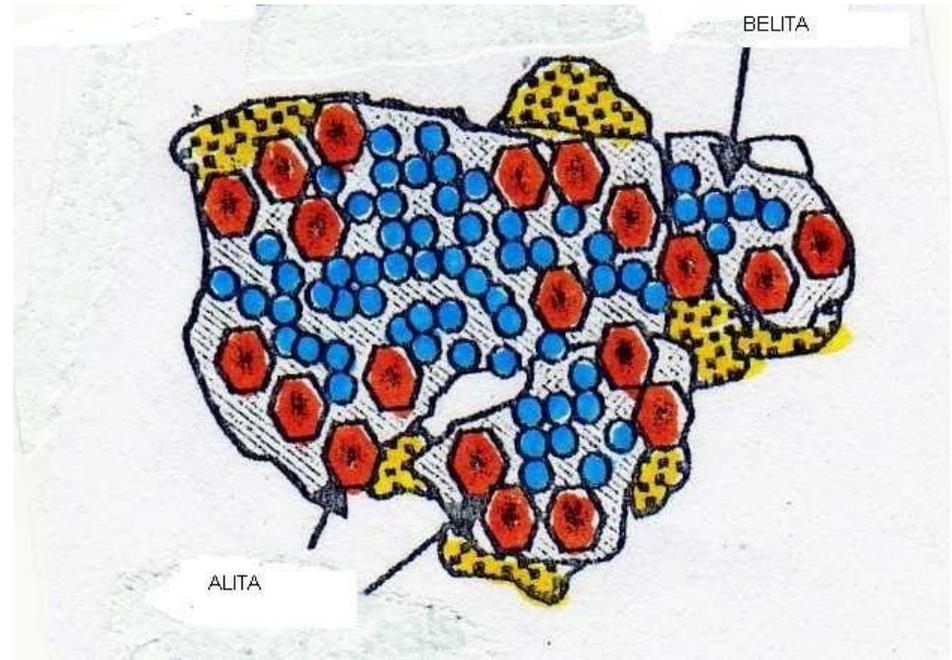
**Comienza la formación de aluminatos y**  
**ferritos.**

**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 C<sub>2</sub>S. Entre 1,150 y 1,200 °C se ha completado la calcinación. Cuando esto ocurre la temperatura se incrementa rápidamente.**



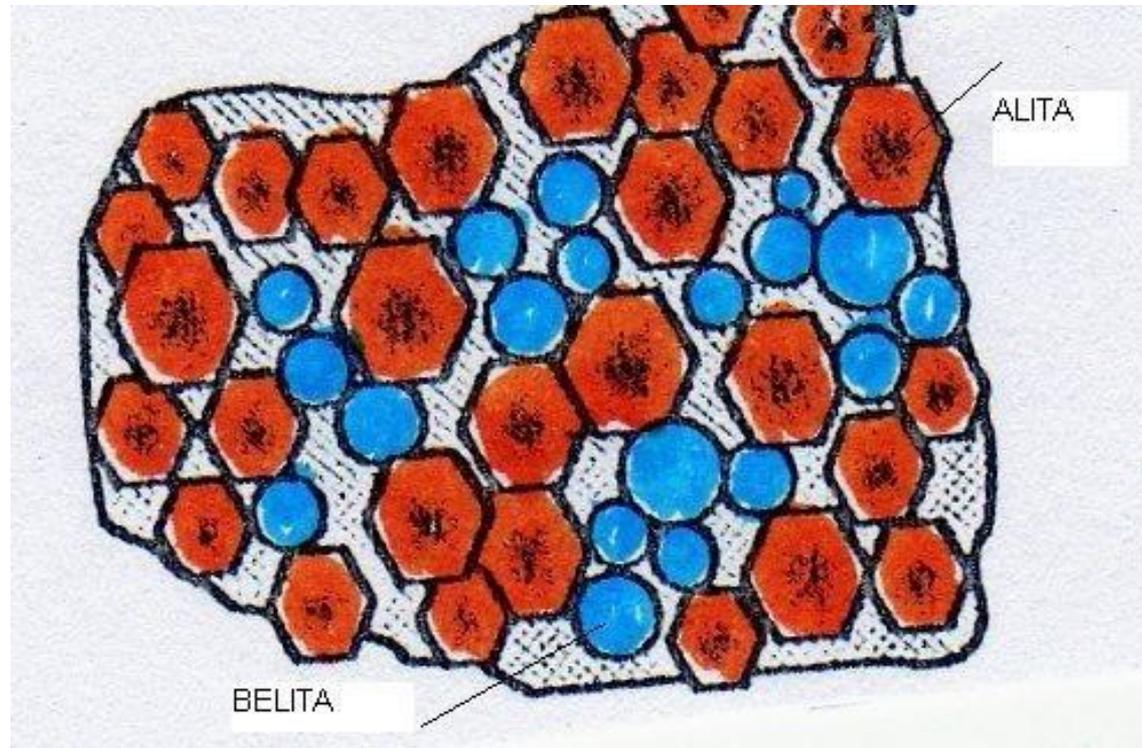
**Se forman pequeños cristales de belita, a partir de la combinación de sílice con cal libre.**

**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<sub>2</sub>S) y cal libre para formar alita (C<sub>3</sub>S).**



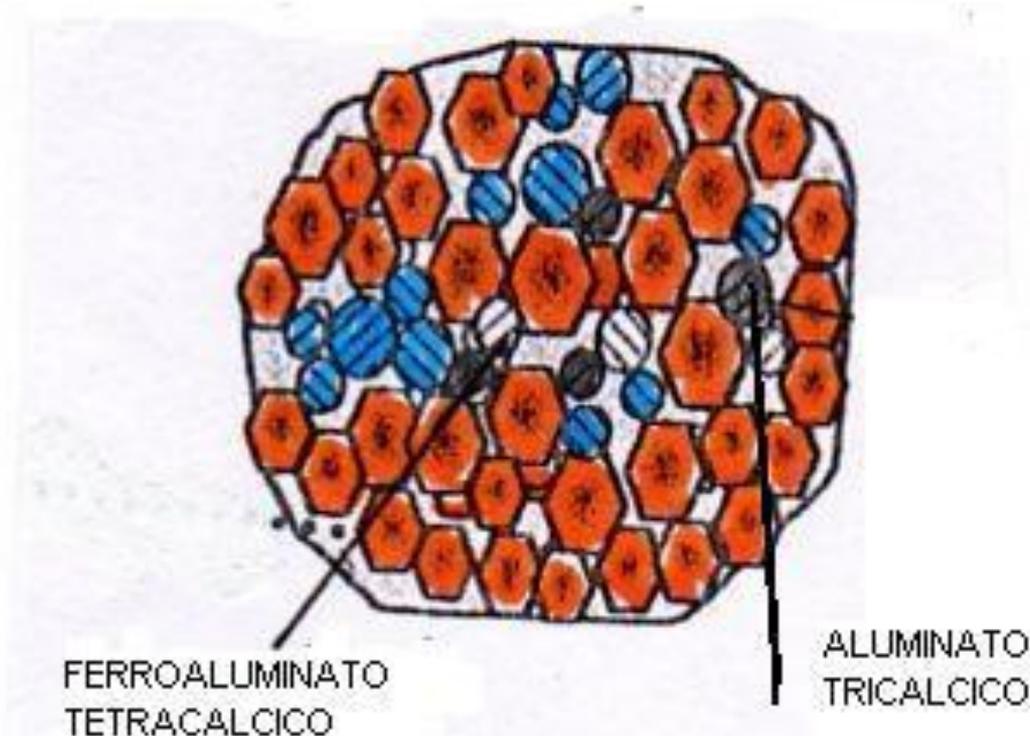
**Cristales redondeados, color celeste: belita**  
**Cristales angulosos, color rojo: alita**

**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.**

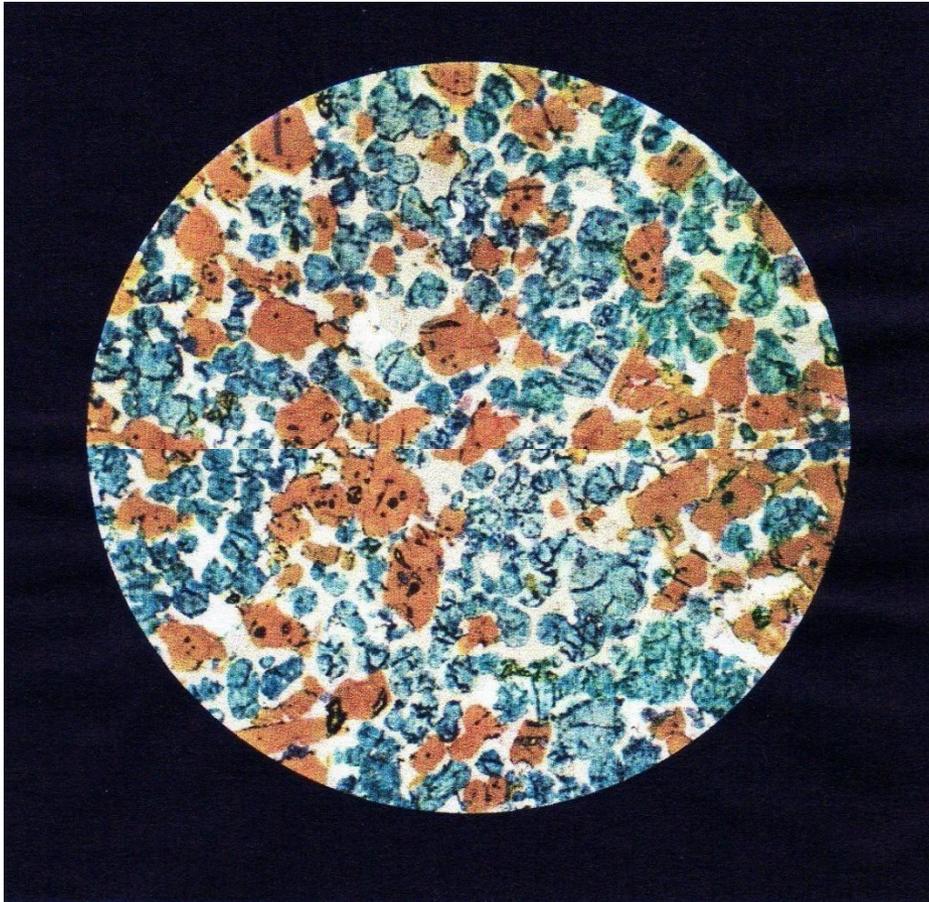


## 6-Enfriamiento:

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:

**C<sub>3</sub>S**

\*cristales azules:

**C<sub>2</sub>S**

\*cristales grises:

**C<sub>3</sub>A**

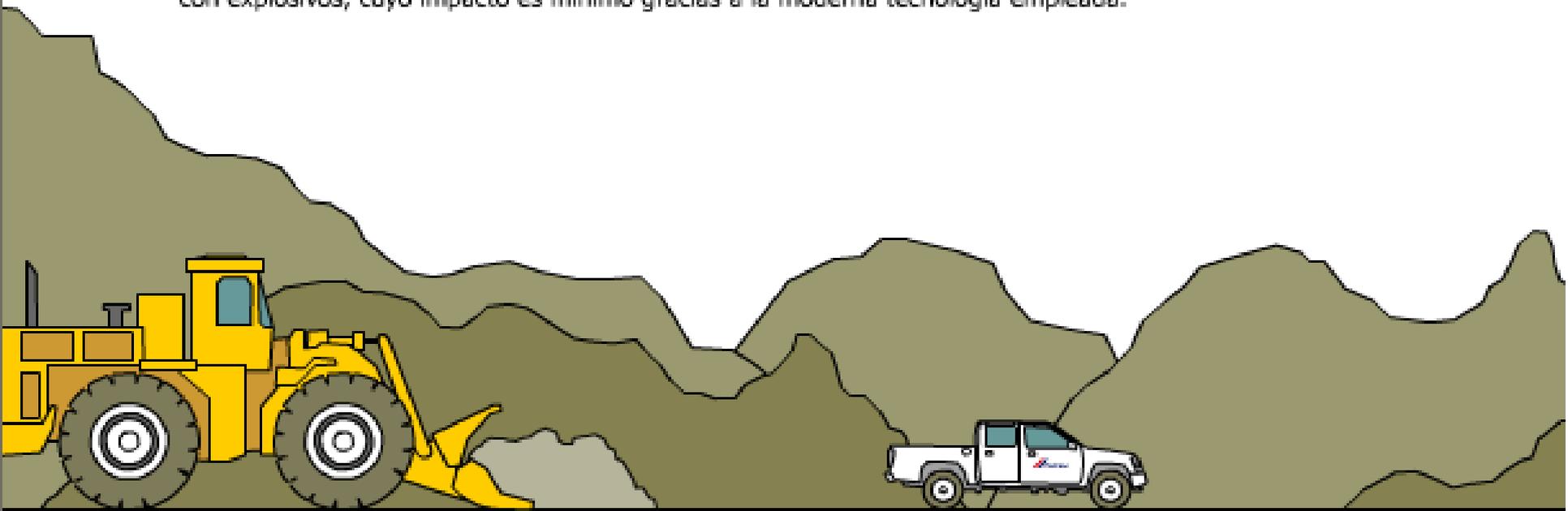
\*cristales blancos:

**C<sub>4</sub>AF**

# **Cómo hace el cemento CEMEX**

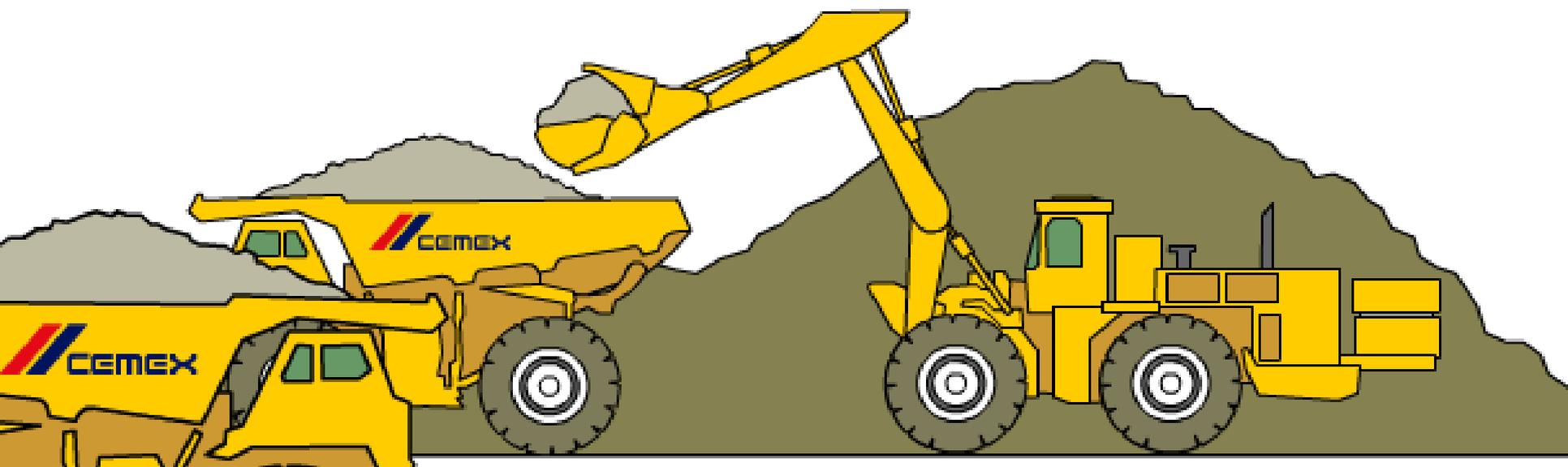
## 1 Explotación de materias primas

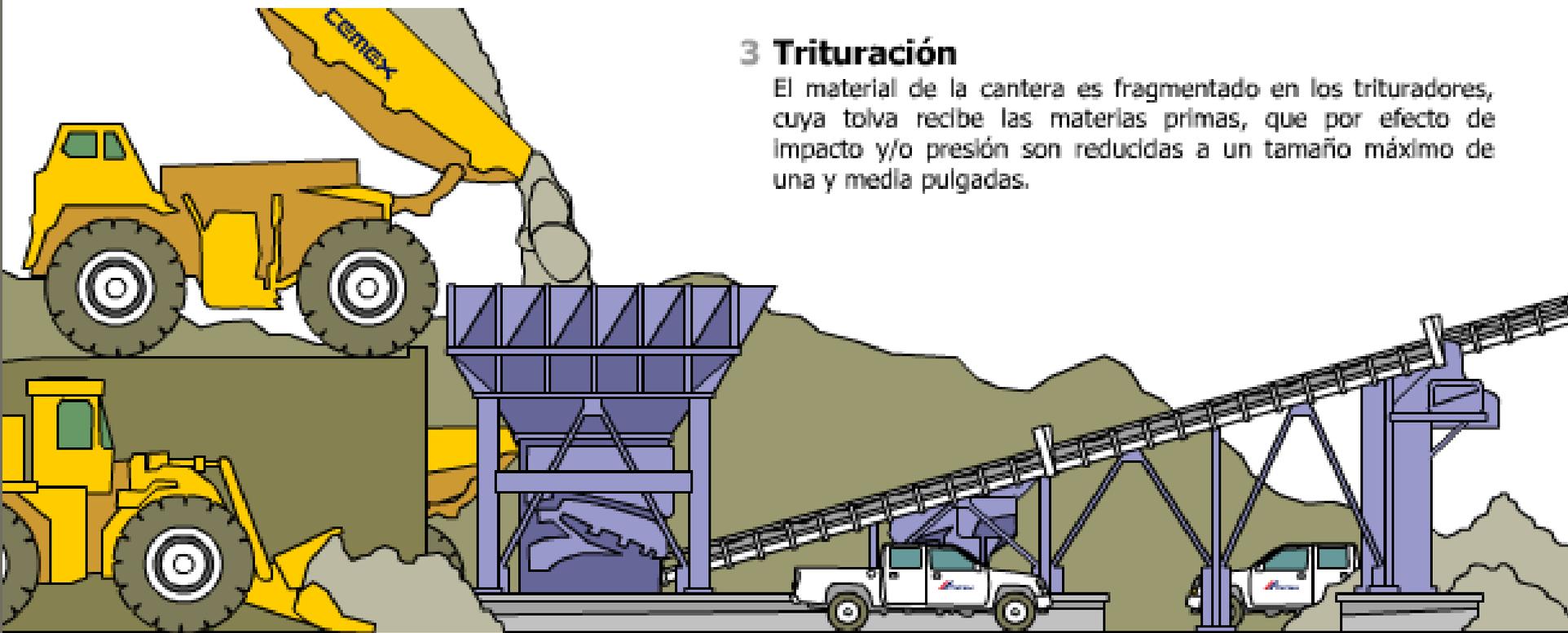
De las canteras de piedra se extrae la caliza y la arcilla a través de barrenación y detonación con explosivos, cuyo impacto es mínimo gracias a la moderna tecnología empleada.



## 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.



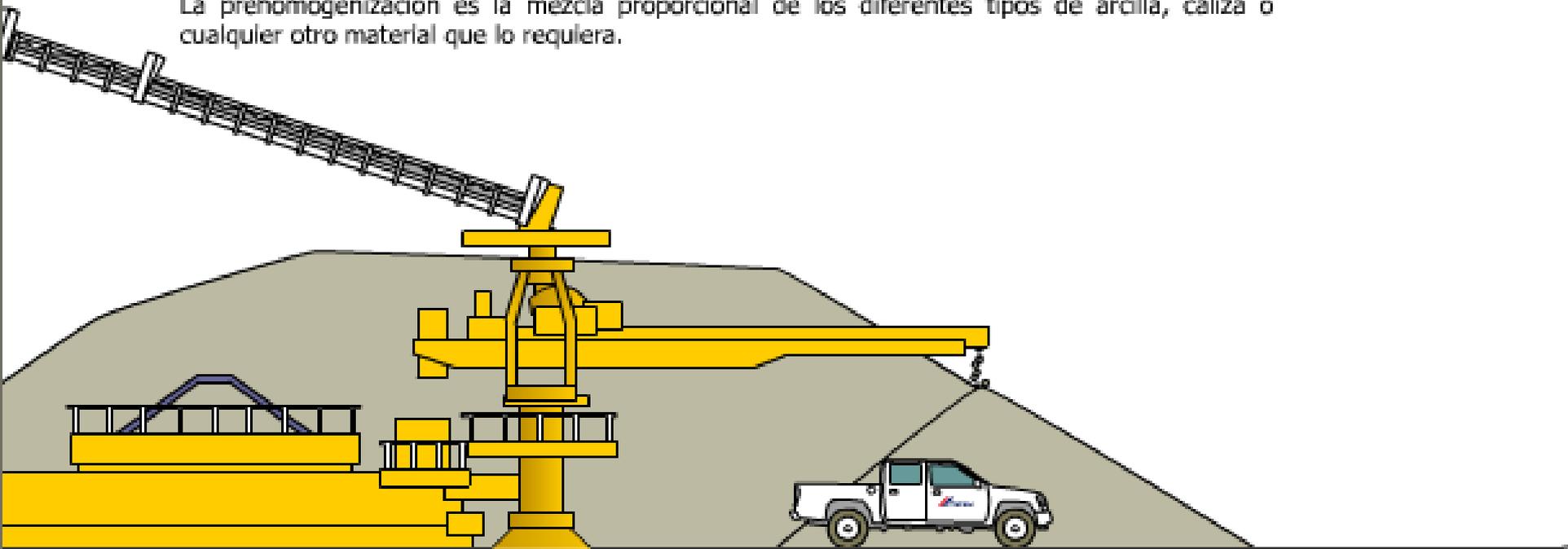


### 3 Trituración

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.

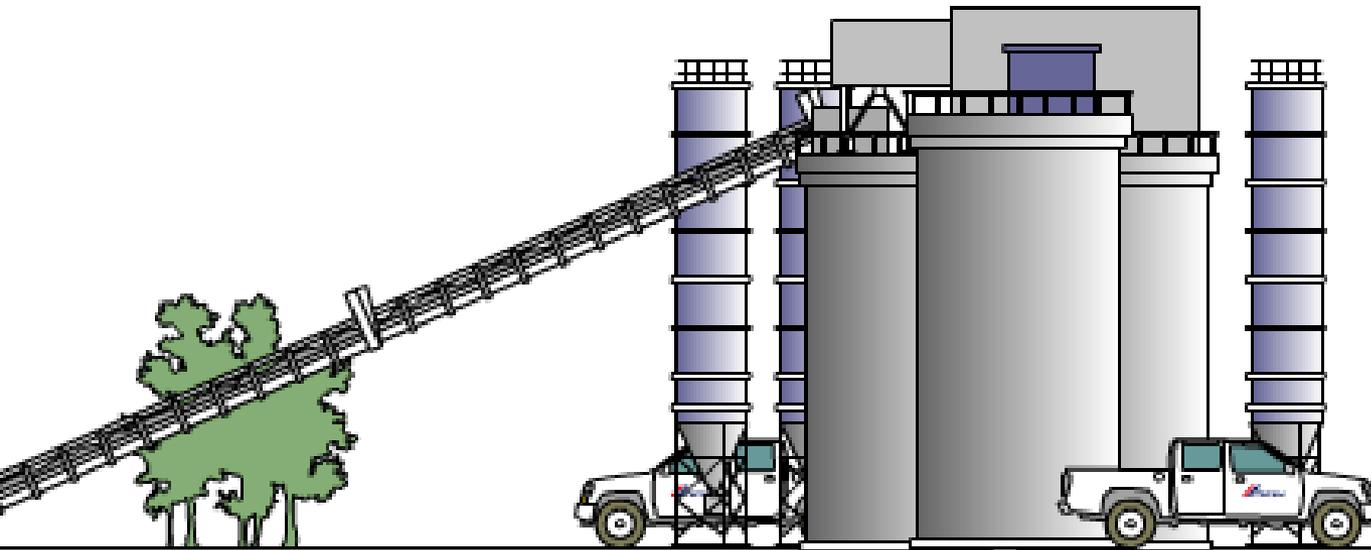
#### 4 Prehomogenización

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



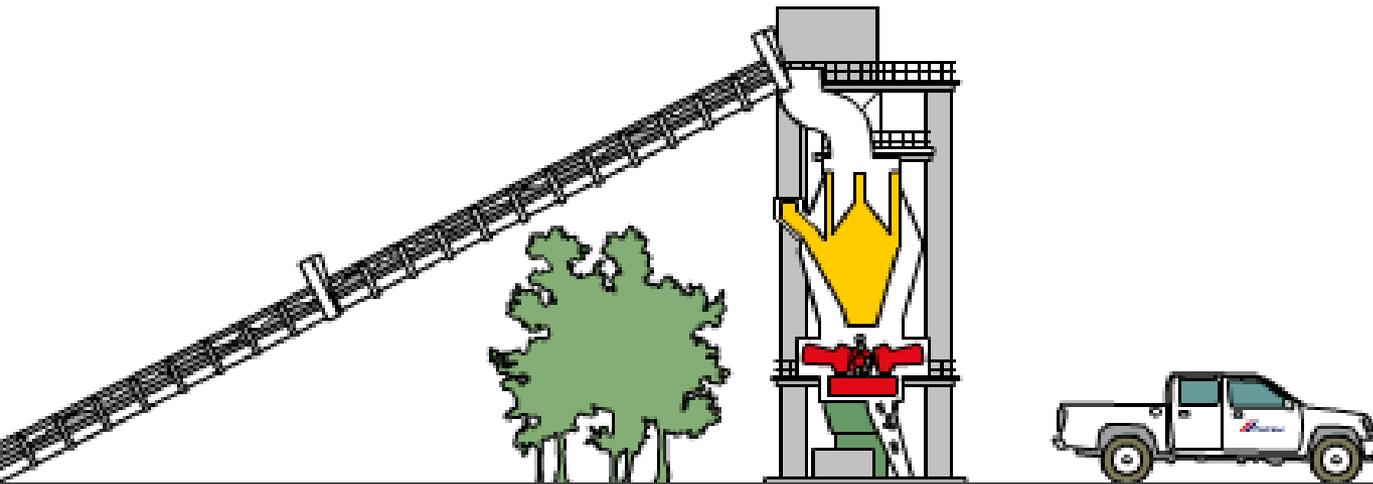
## 5 Almacenamiento de materias primas

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



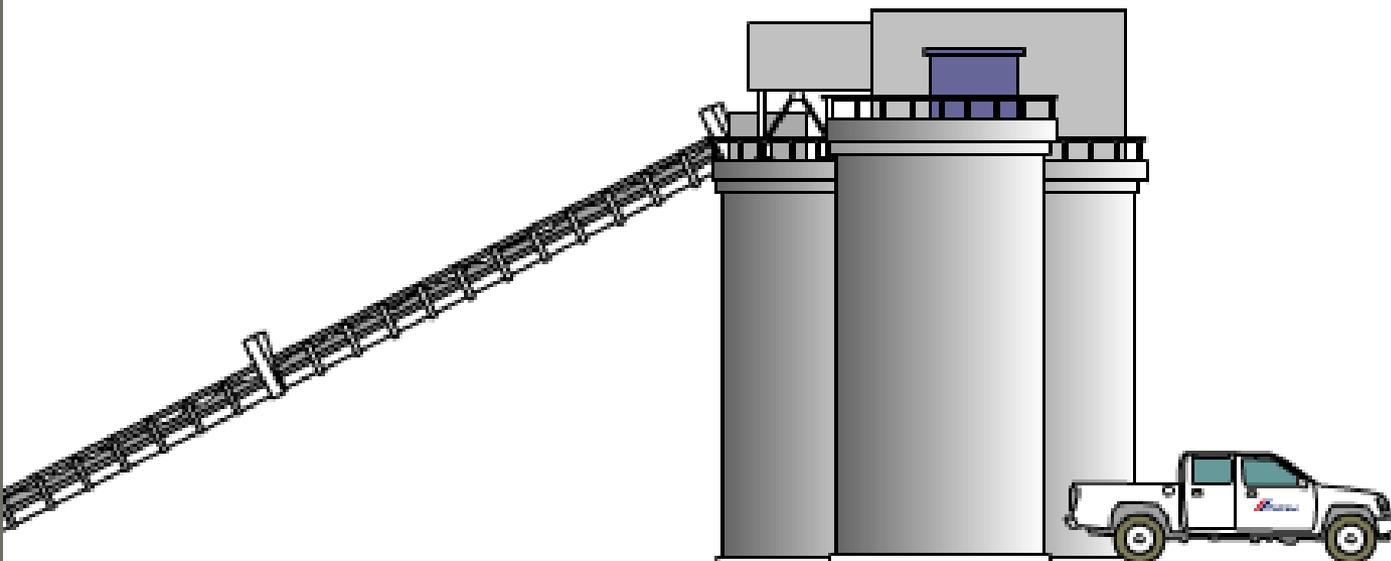
## 6 Molienda de materia prima

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.



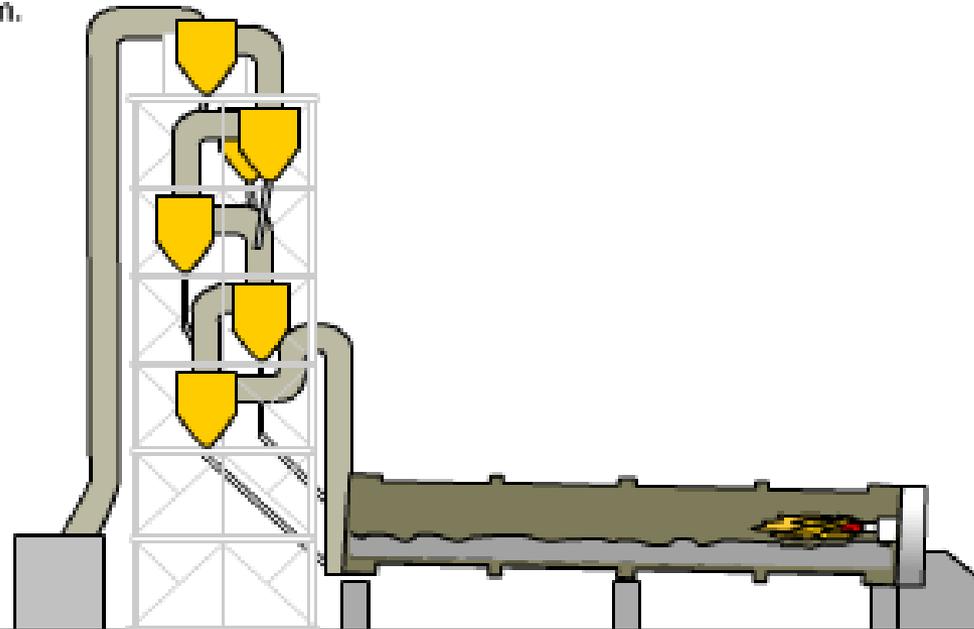
## 7 Homogenización de harina cruda

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



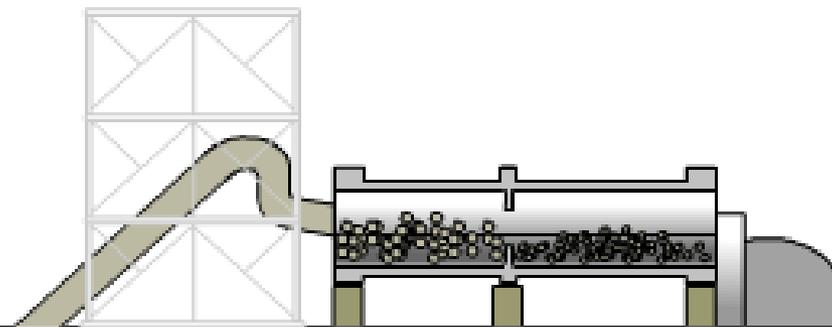
## 8 Calcinación

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



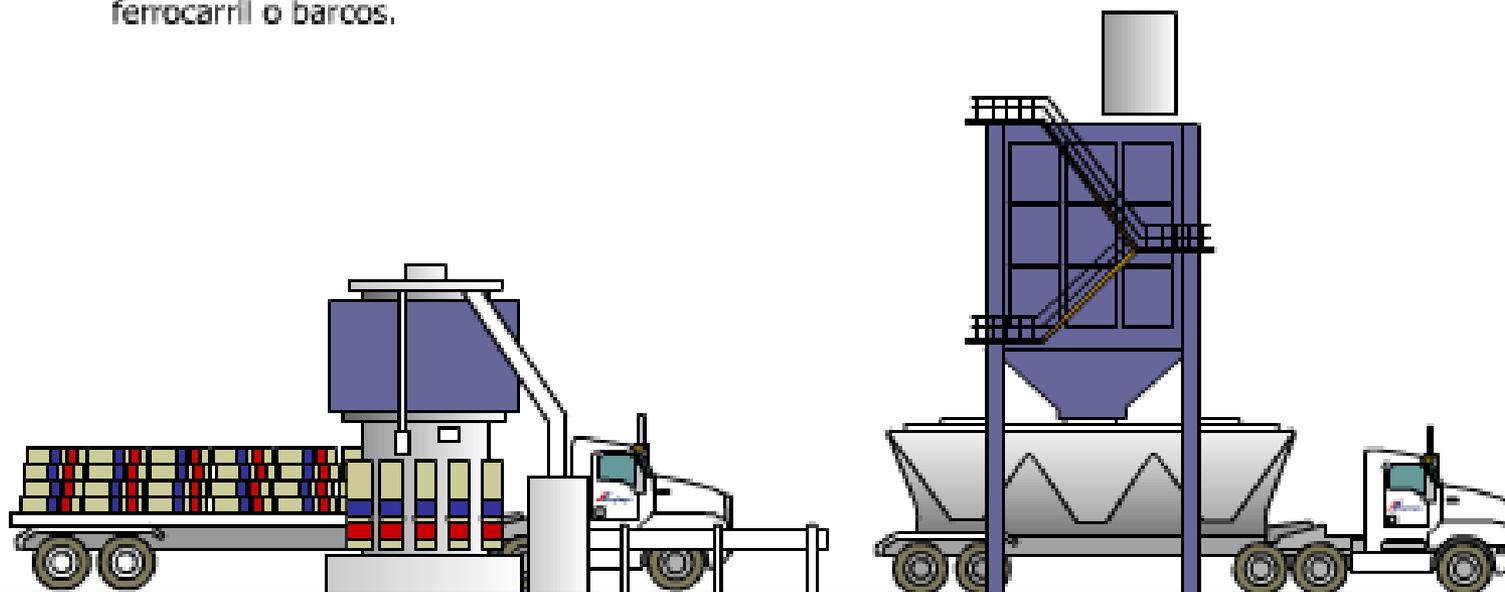
## 9 Molienda de cemento

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.



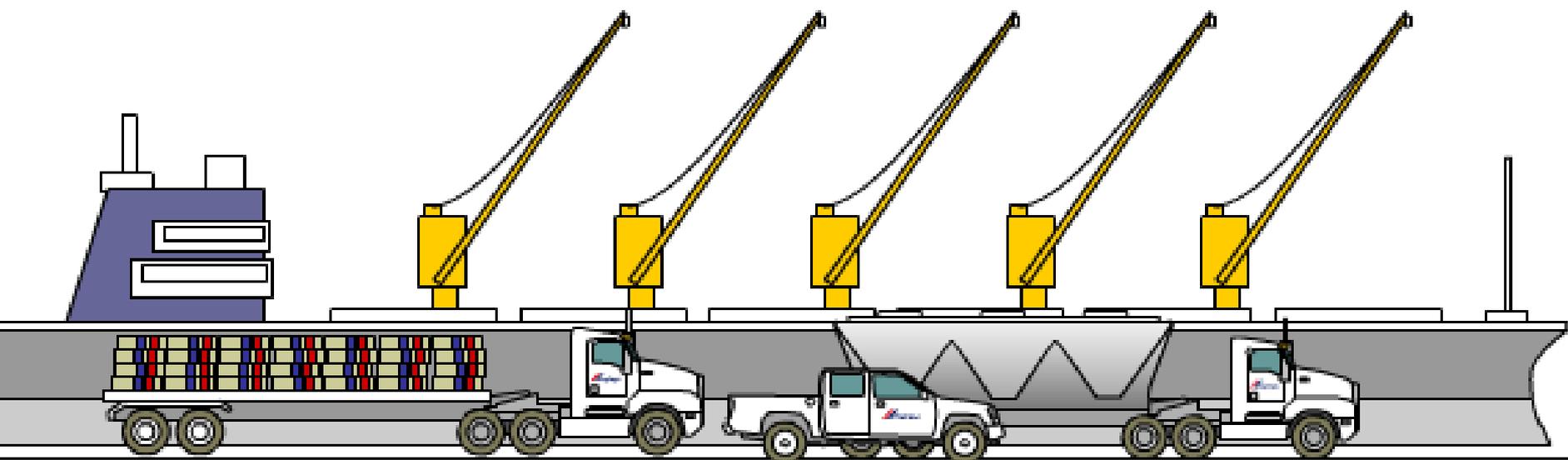
## 10 Envase y embarque del cemento

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.

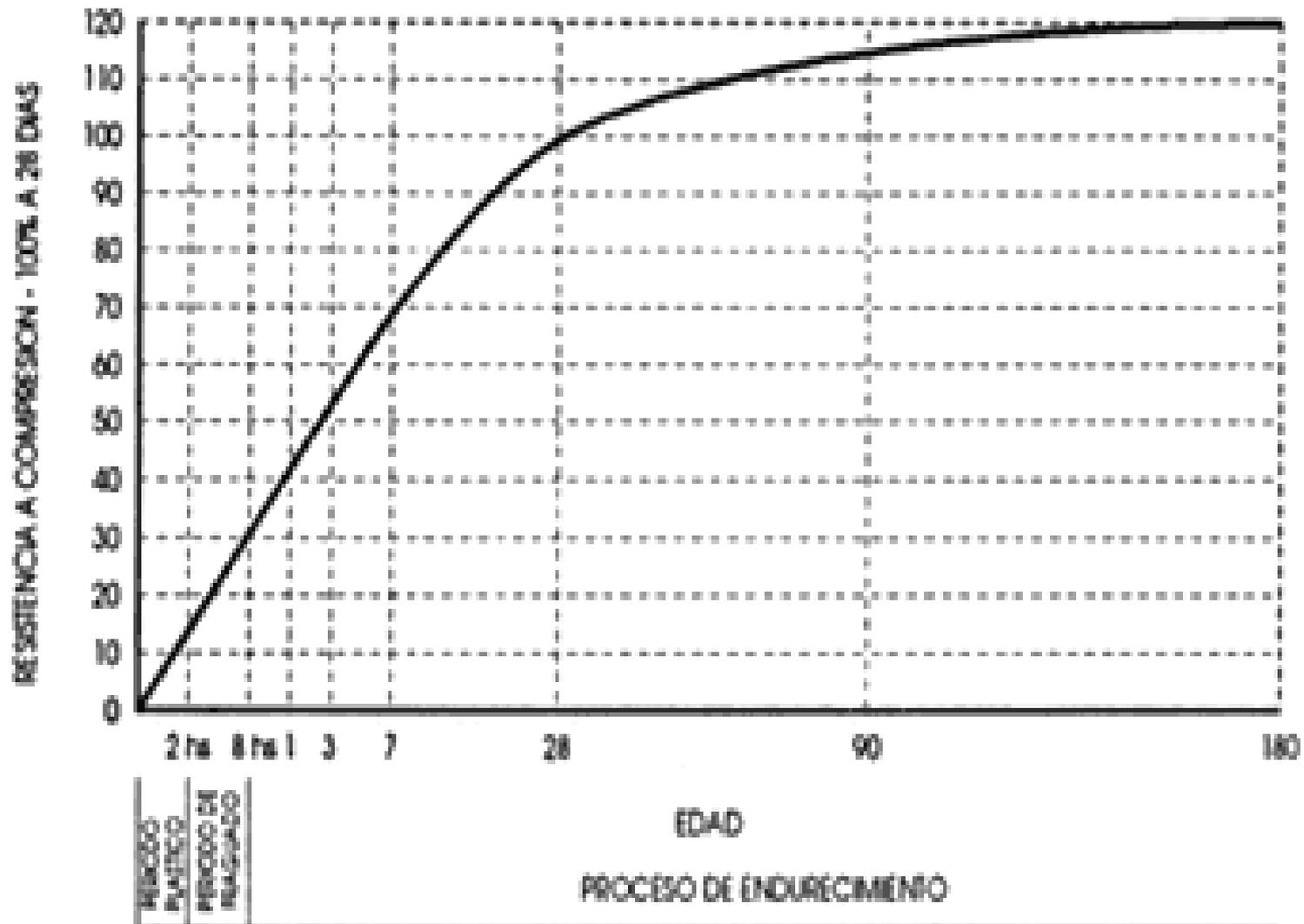


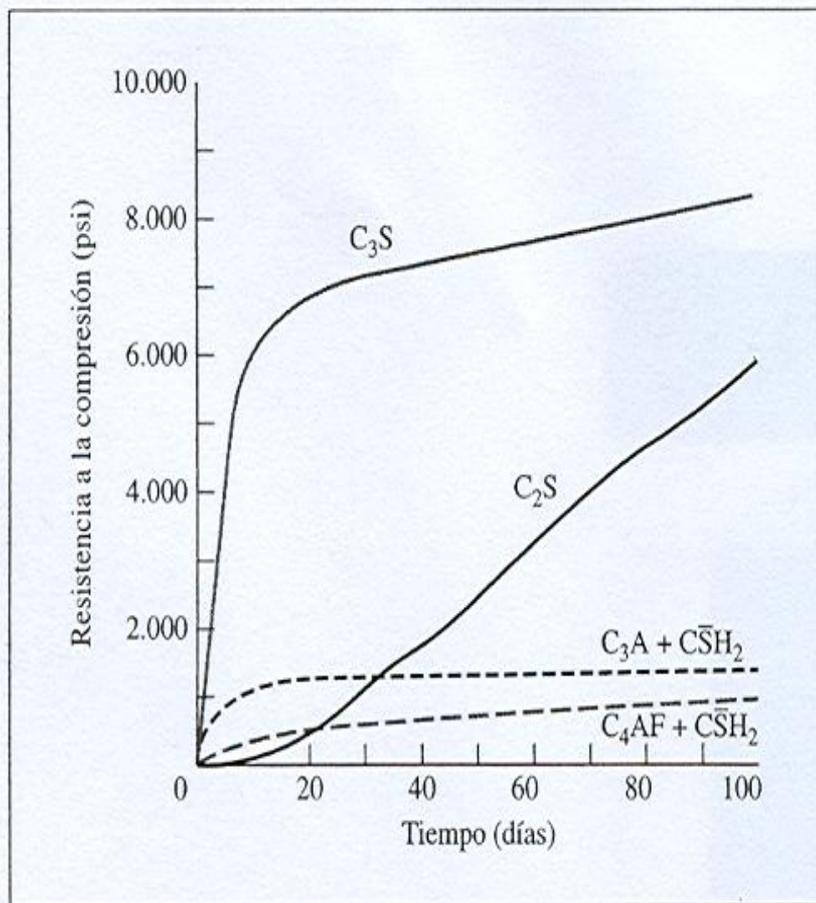
## 10 Envase y embarque del cemento

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.



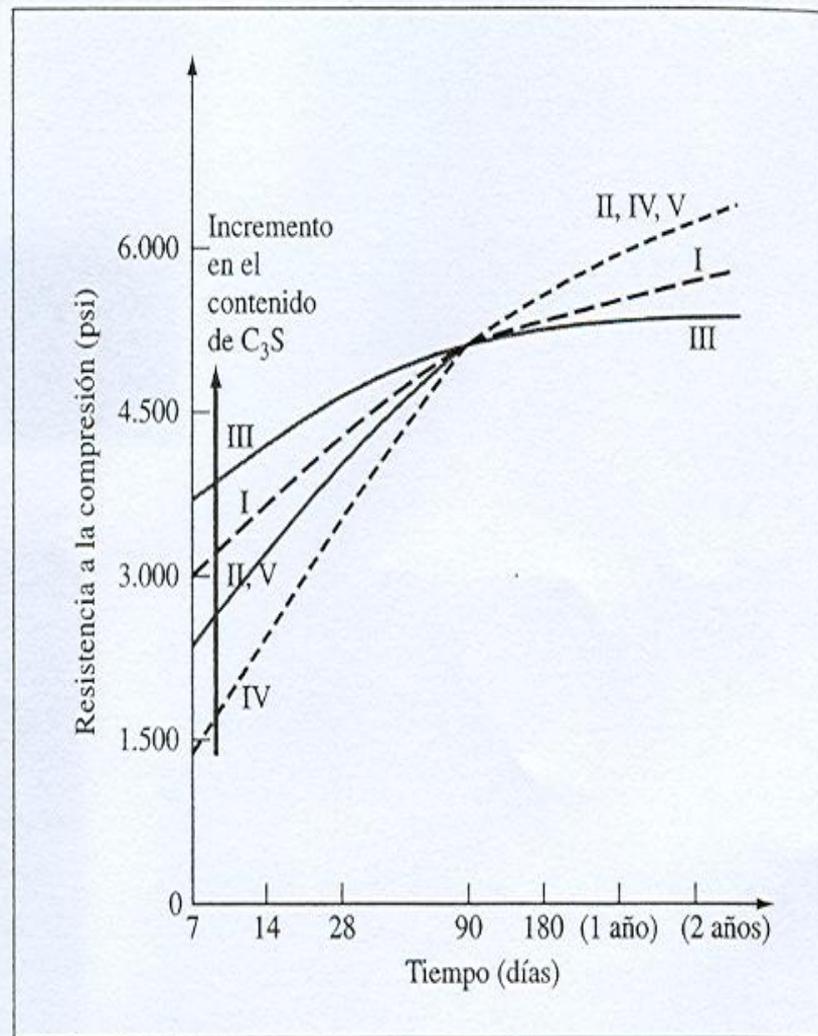
# Desarrollo de la Resistencia en el Tiempo de un Hormigón con Cemento Pórtland Normal





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

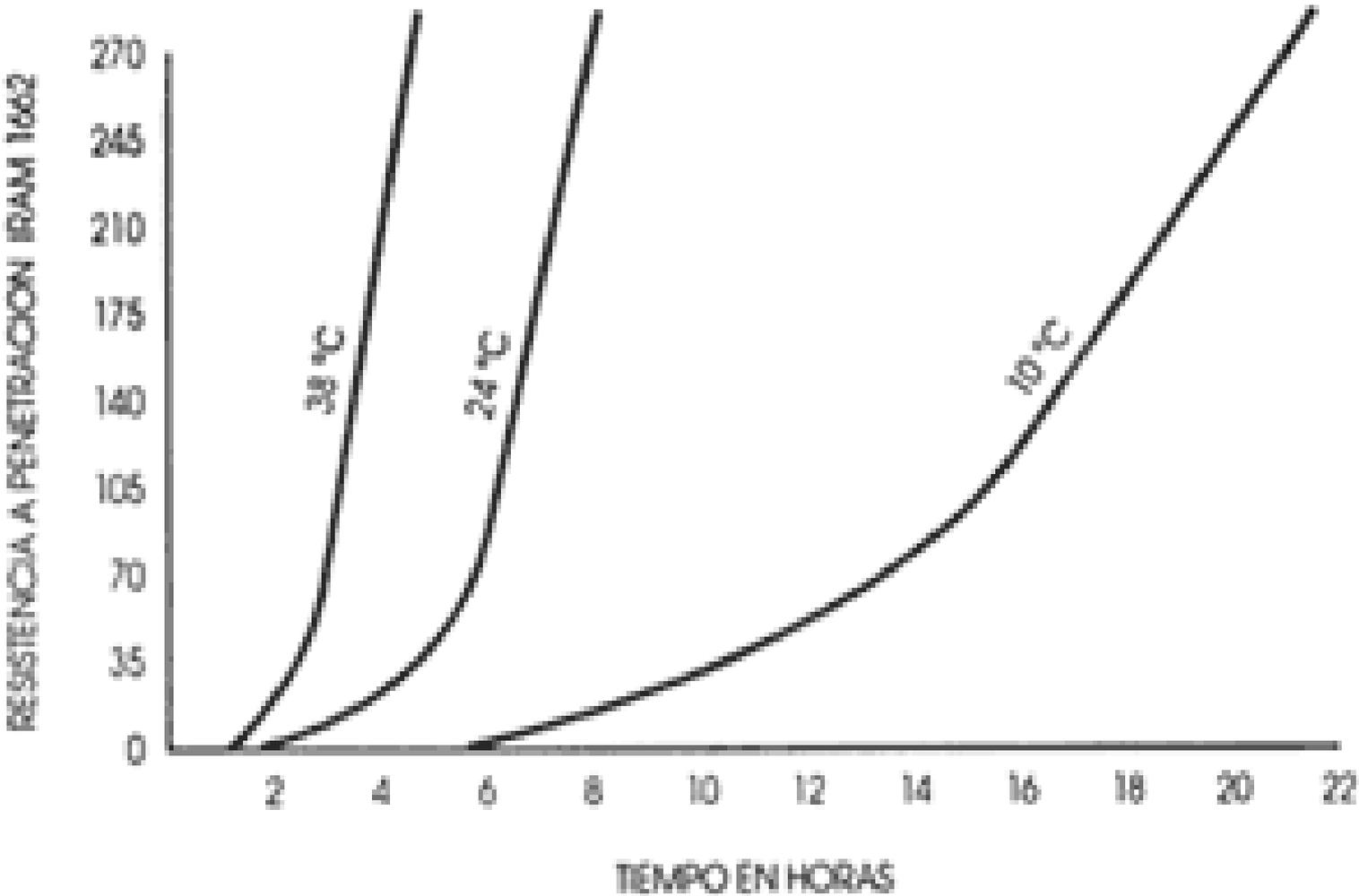
**FIGURA 11.28.** Resistencia a la compresión de componentes de cemento puro en función del tiempo de curado (endurecimiento). C $\bar{S}$ H<sub>2</sub> es la expresión abreviada del CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O.



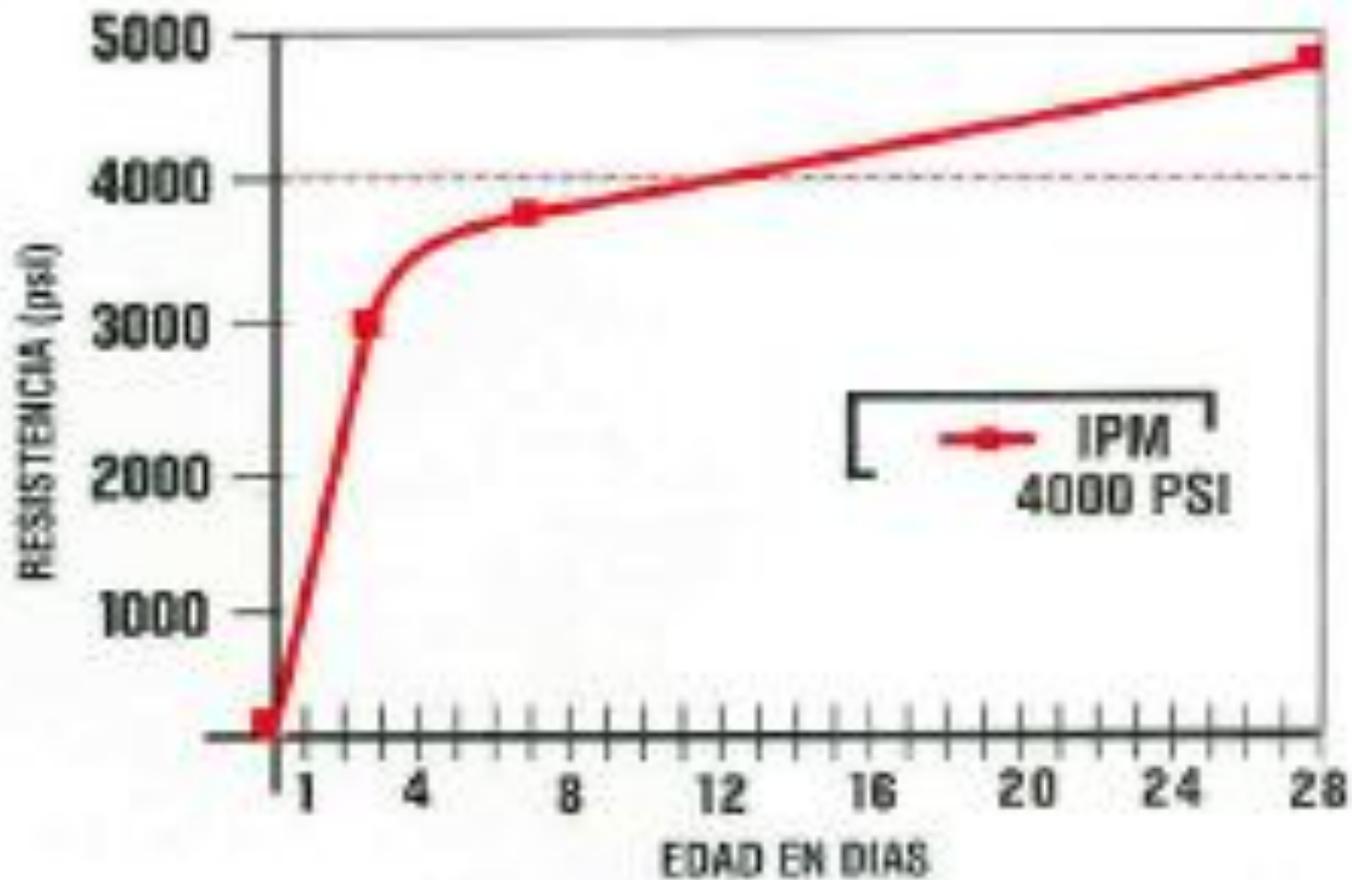
[Según J. F. Young, *J. Educ. Module Mater. Sci.*, 3:420 (1981). Usado con permiso del *Journal of Materials Education*, University Park, Pa., USA]

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

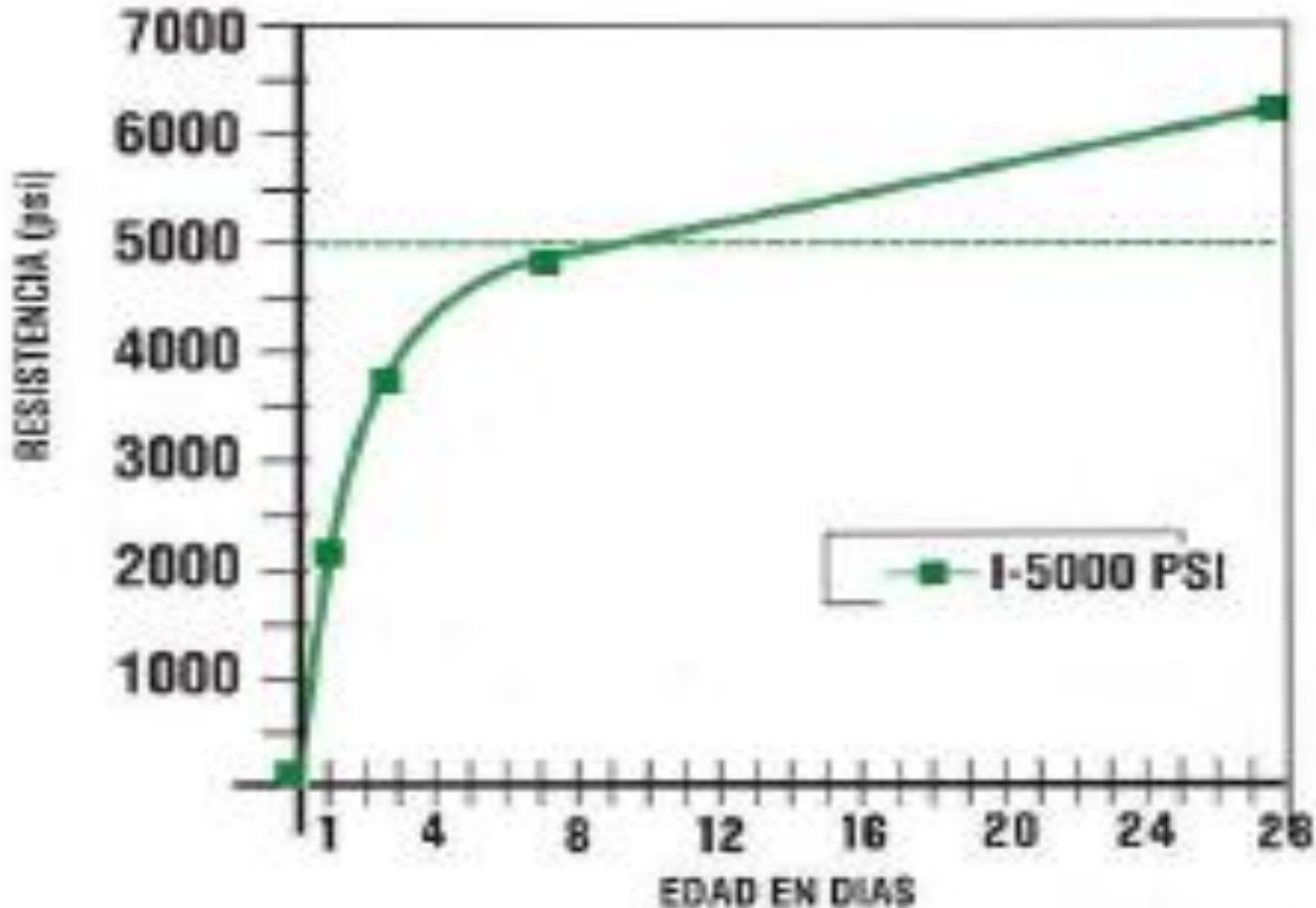
# Curvas de Fraguado de Mortero de Cemento Pórtland Normal para Distintas Condiciones de Temperatura.



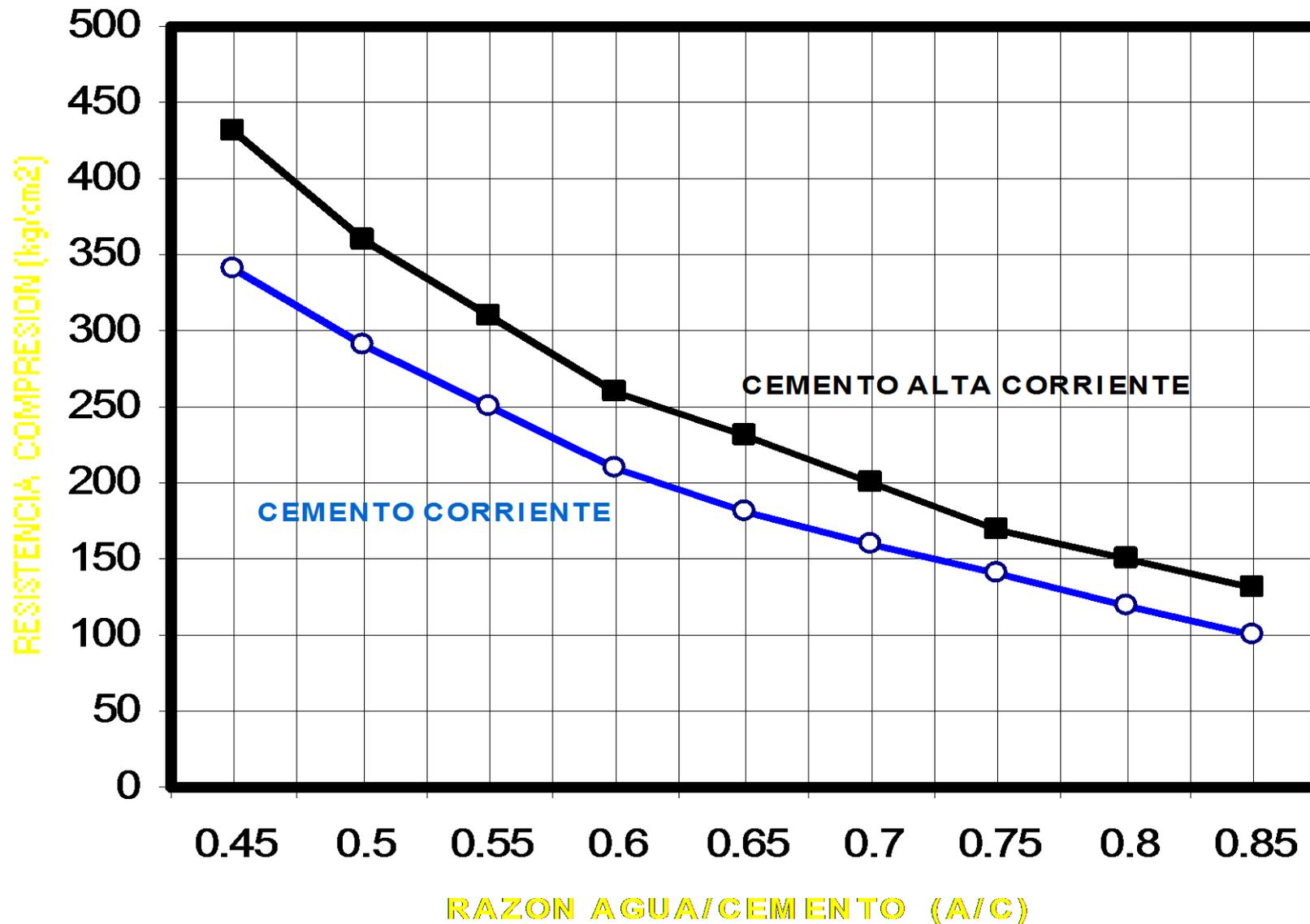
# GRAFICA DE DESARROLLO TIPICO DE RESISTENCIA A COMPRESION CEMENTO PROGRESO 4000 PSI - 28 N/mm<sup>2</sup>



# GRAFICA DE DESARROLLO TIPICO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN CEMENTO PROGRESO 5000 PSI - 35 N/mm<sup>2</sup>



# RELACION RAZON AGUA/CEMENTO VERSUS RESISTENCIA A LA COMPRESION



# ENSAYES AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO



# MEDIDA DE LA TRABAJABILIDAD DEL HORMIGON FRESCO

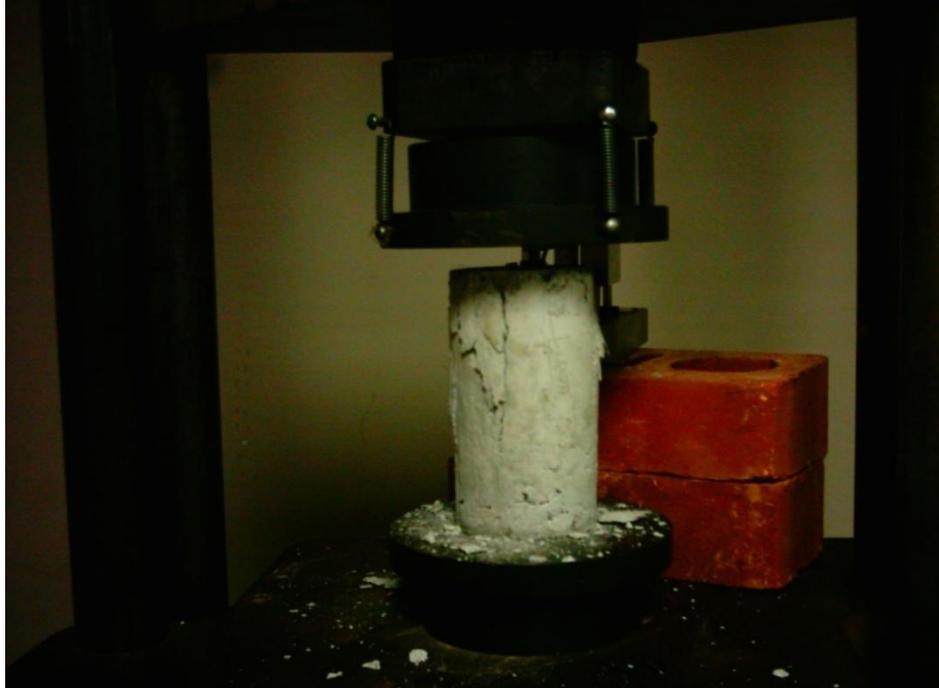
EL ASENTAMIENTO DE CONO ( NCh 1019). ESTE ENSAYO FUE IDEADO POR EL INVESTIGADOR NORTEAMERICANO **ABRAMS** CONSISTE BÁSICAMENTE EN RELLENAR UN MOLDE METÁLICO TRONCOCÓNICO DE DIMENSIONES NORMALIZADAS, EN TRES CAPAS APISONADAS CON 25 GOLPES DE VARILLA-PISÓN Y, LUEGO DE RETIRAR EL MOLDE, MEDIR EL ASENTAMIENTO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



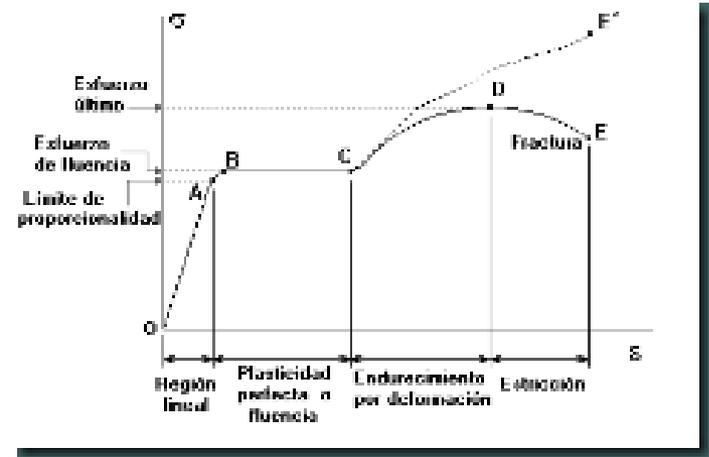
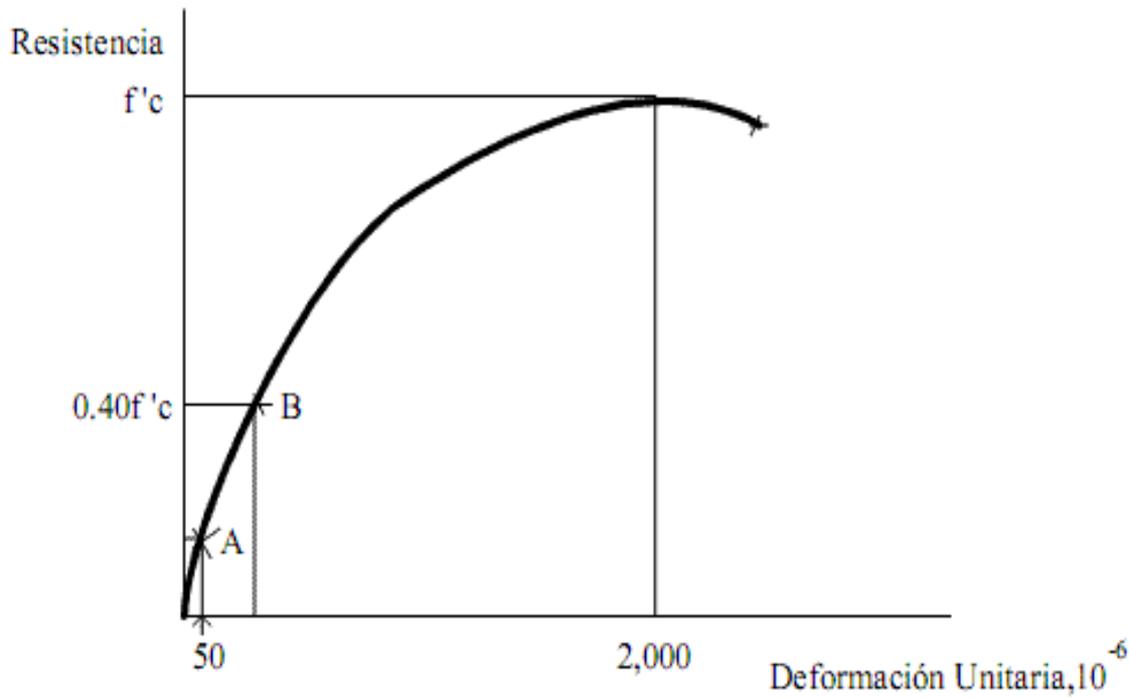
Estados del Hormigón	FLUIDEZ				
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Asentamiento cono de Abrams	0-1 cm	2-3 cm	4-6 cm	7-9 cm	10-12cm





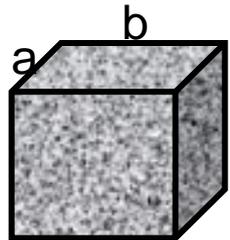


# MODULO DE RUPTURA

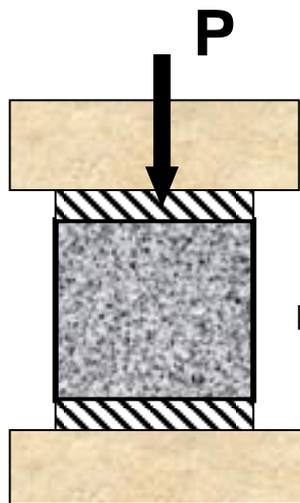


# ENSAYO DE COMPRESION DE PROBETAS CUBICAS Y CILINDRICAS DE HORMIGON (NCh 1037. Of77)

Probeta cúbica



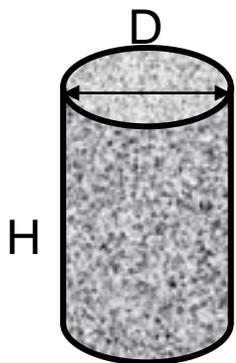
Medidas  
15x15x15 cm  
20x20x20 cm



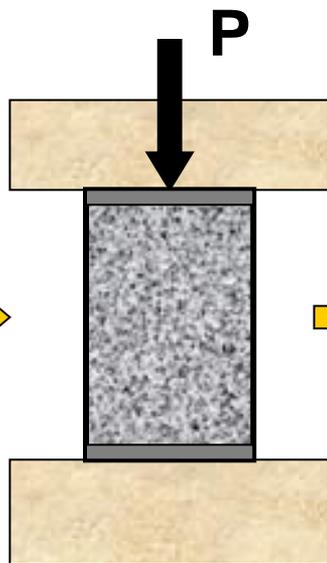
$$R_c = P/A$$

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

Probeta cilíndrica



Medidas  
Diámetro=15 cm  
Altura = 30 cm



$$R_c = P/A$$

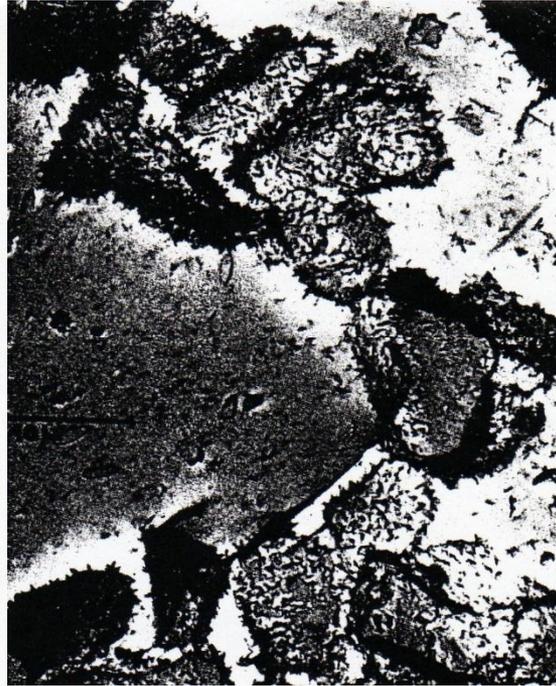
$A = 3,14 \times D^2 / 4$   
 $P =$  carga máxima

# Fraguado del cemento

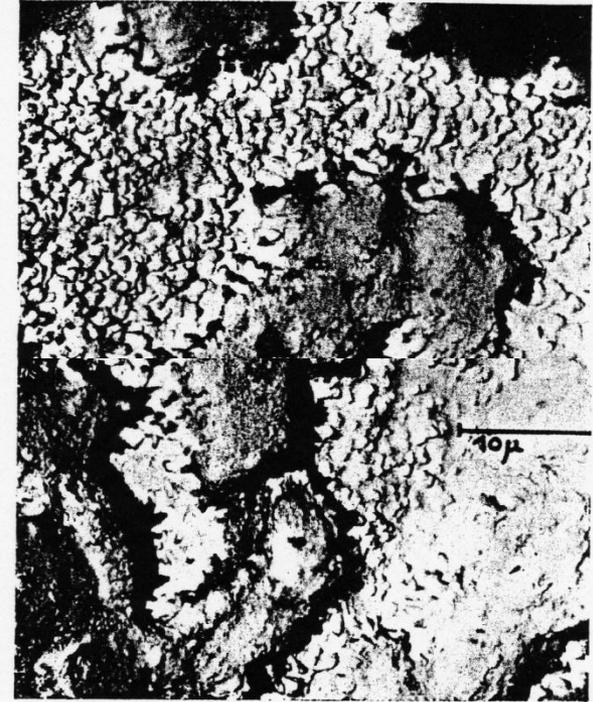
- Cuando se le añade agua a las partículas de cemento, éstas reaccionan formando un coloide.
- Este coloide se entrelazan entre sí, formando una estructura muy densa, que le proporciona al cemento su elevada resistencia mecánica a la compresión.
- El proceso completo de fraguado puede durar hasta 10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



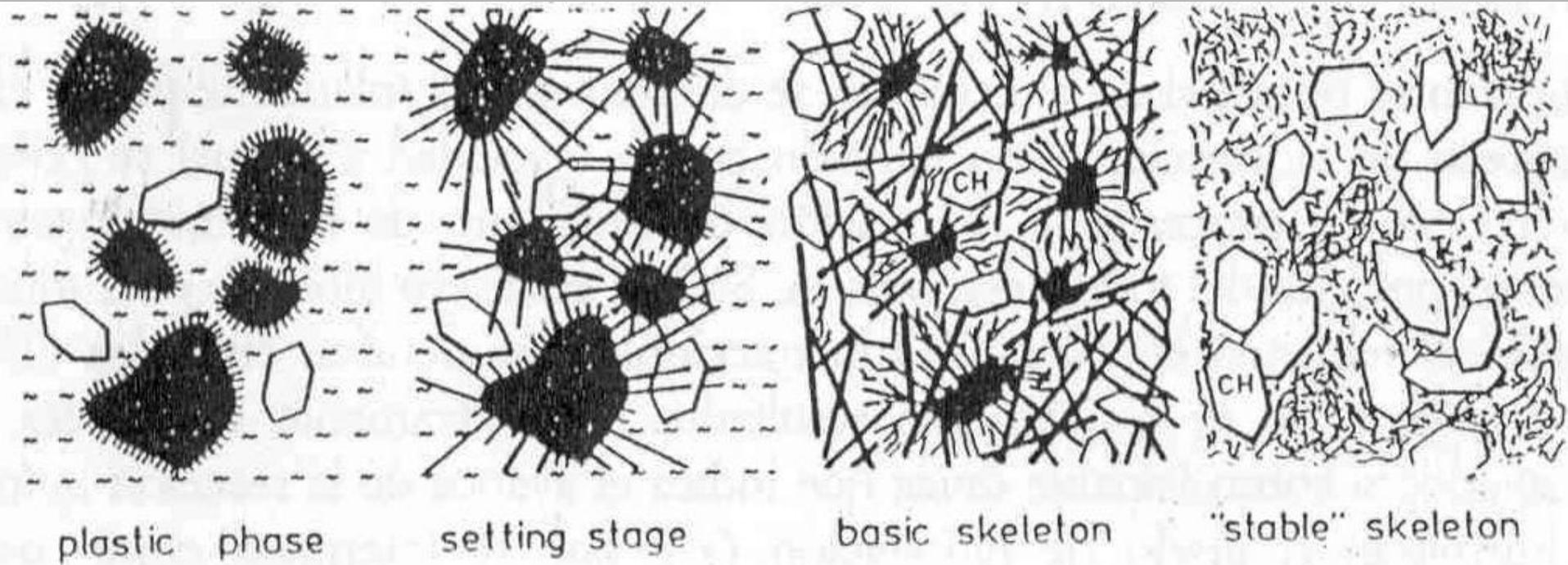
**1 hora  
después**



Granos de cemento 28 días después del mezclado (microscopio electrónico).

**28 días  
después**

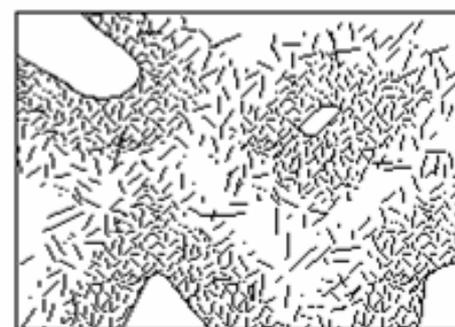
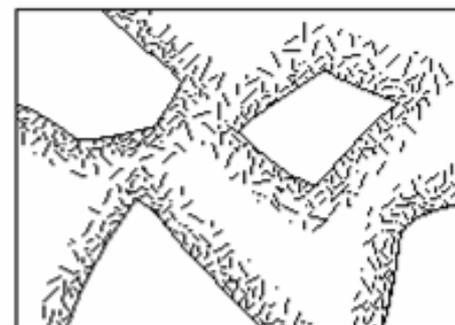
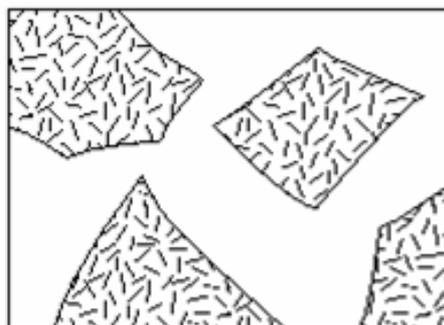
**poco después  
del mezclado  
con el agua**



Fase inicial

Fase intermedia

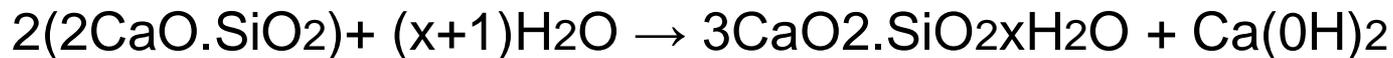
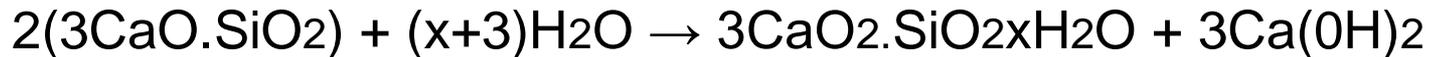
Fase final



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  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ .

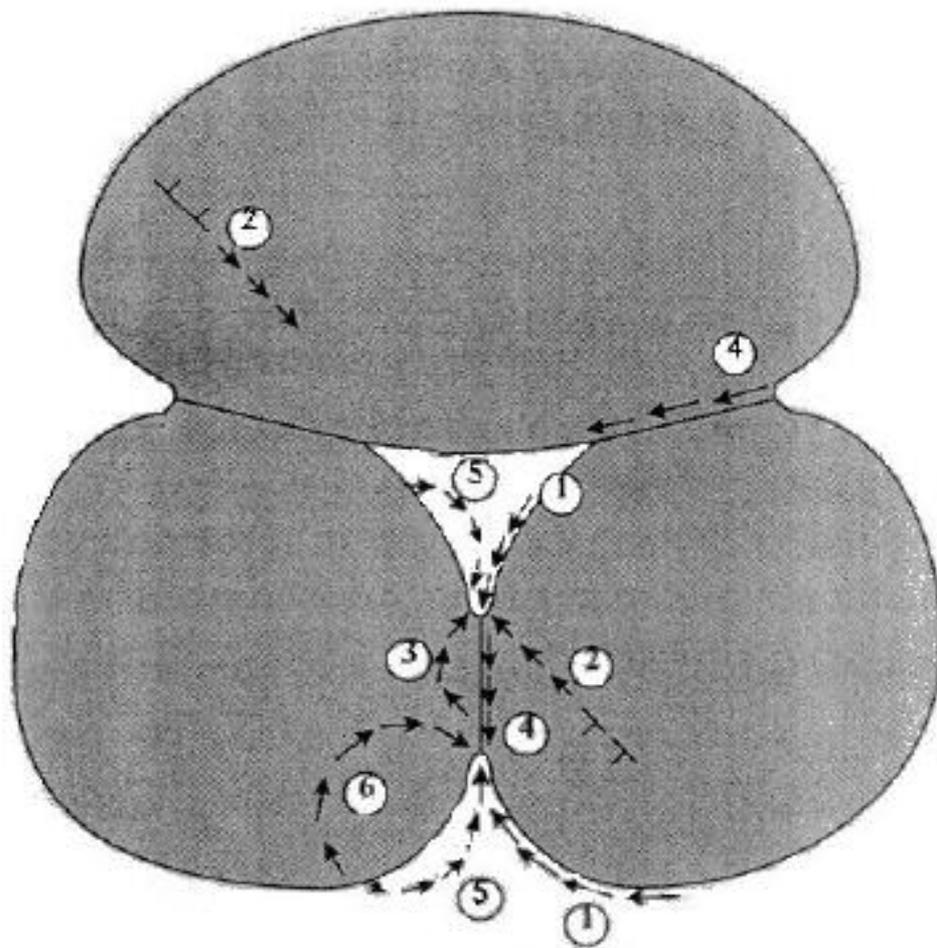
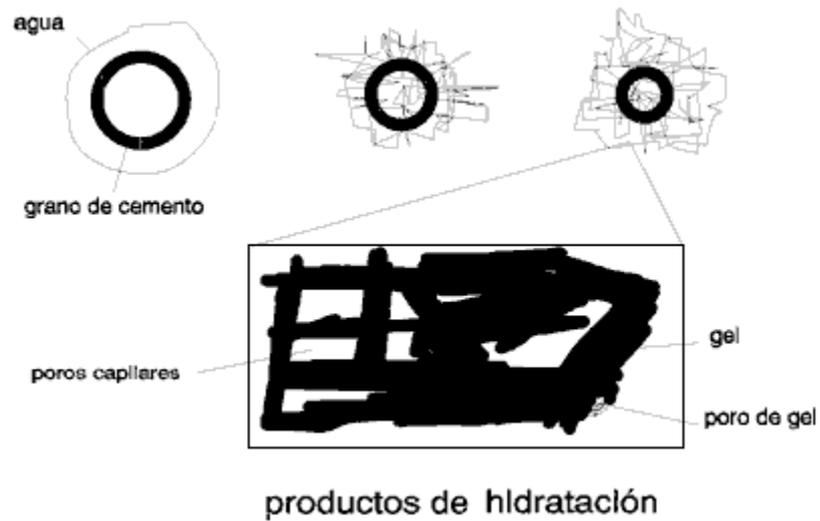
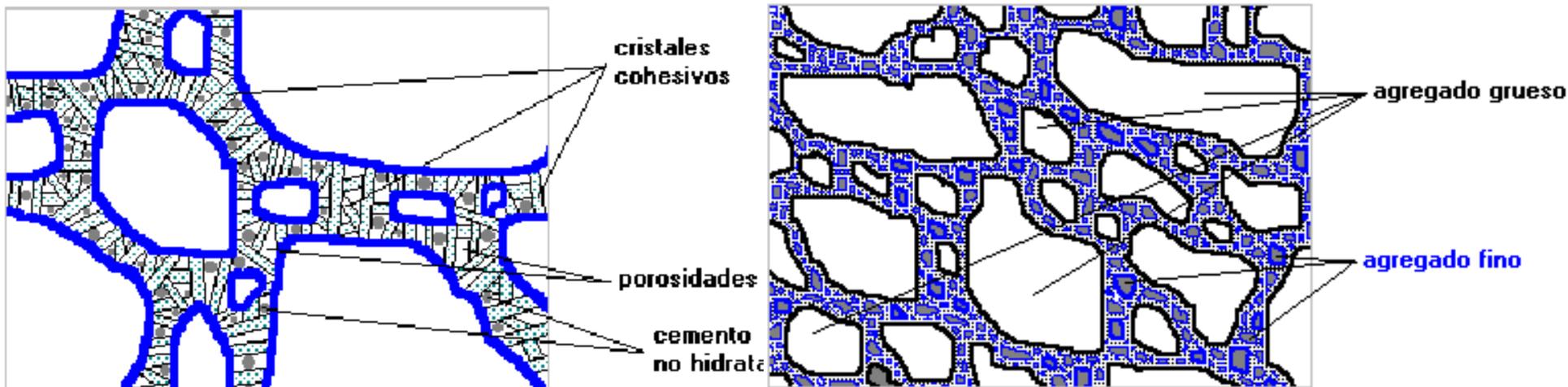


Figura 6. Mecanismos de transporte de masa (Bose 1995).

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

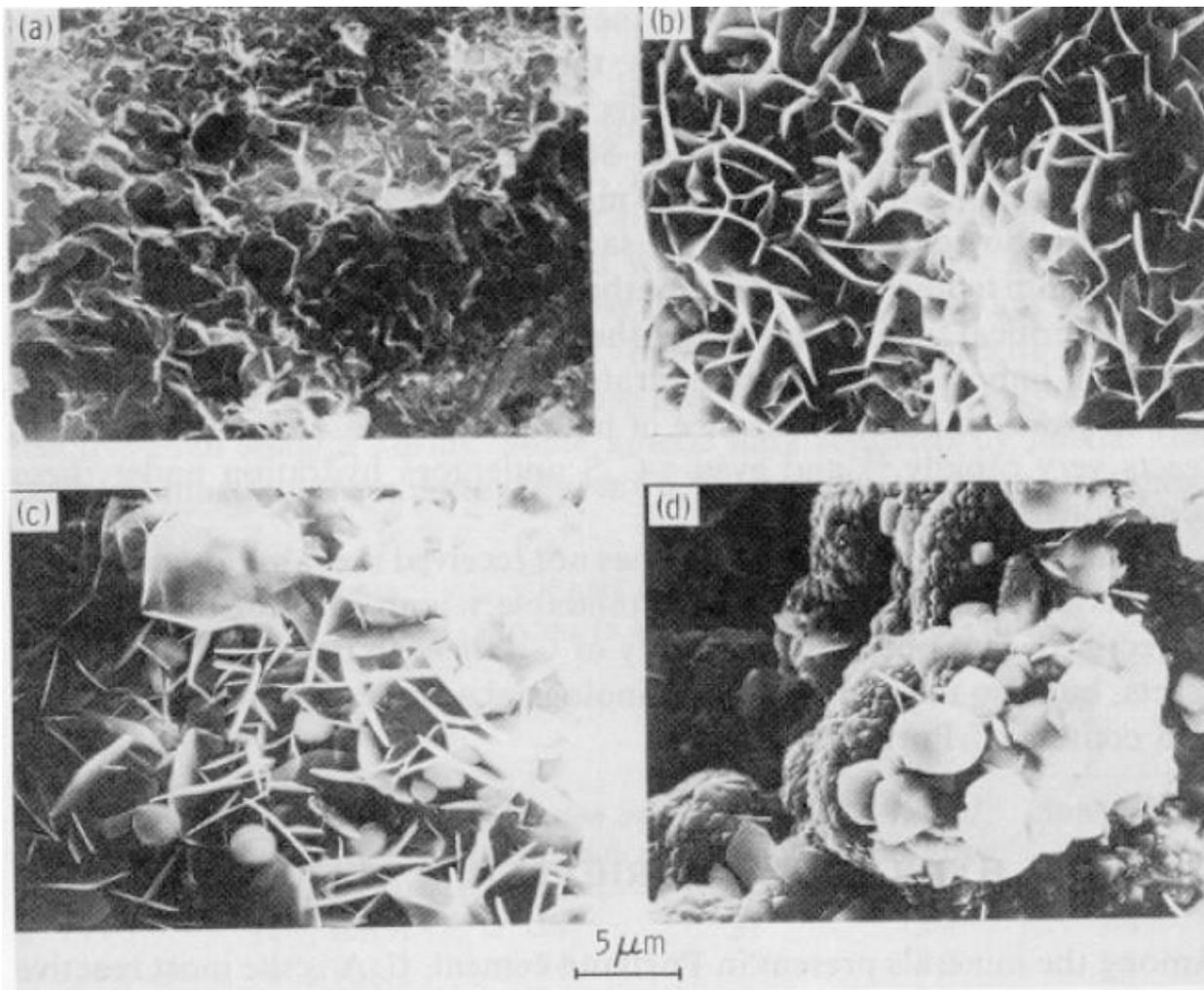
<b>NOMBRE</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>FÓRMULA DE ÓXIDOS</b>	<b>PORCIENTO</b>
Silicato dicálcico	$\text{Ca}_2\text{SiO}_4$	$\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$	32%
Silicato tricálcico	$\text{Ca}_3\text{SiO}_5$	$\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$	40%
Aluminato tricálcico	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$	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	$\text{CaSO}_4$		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.**

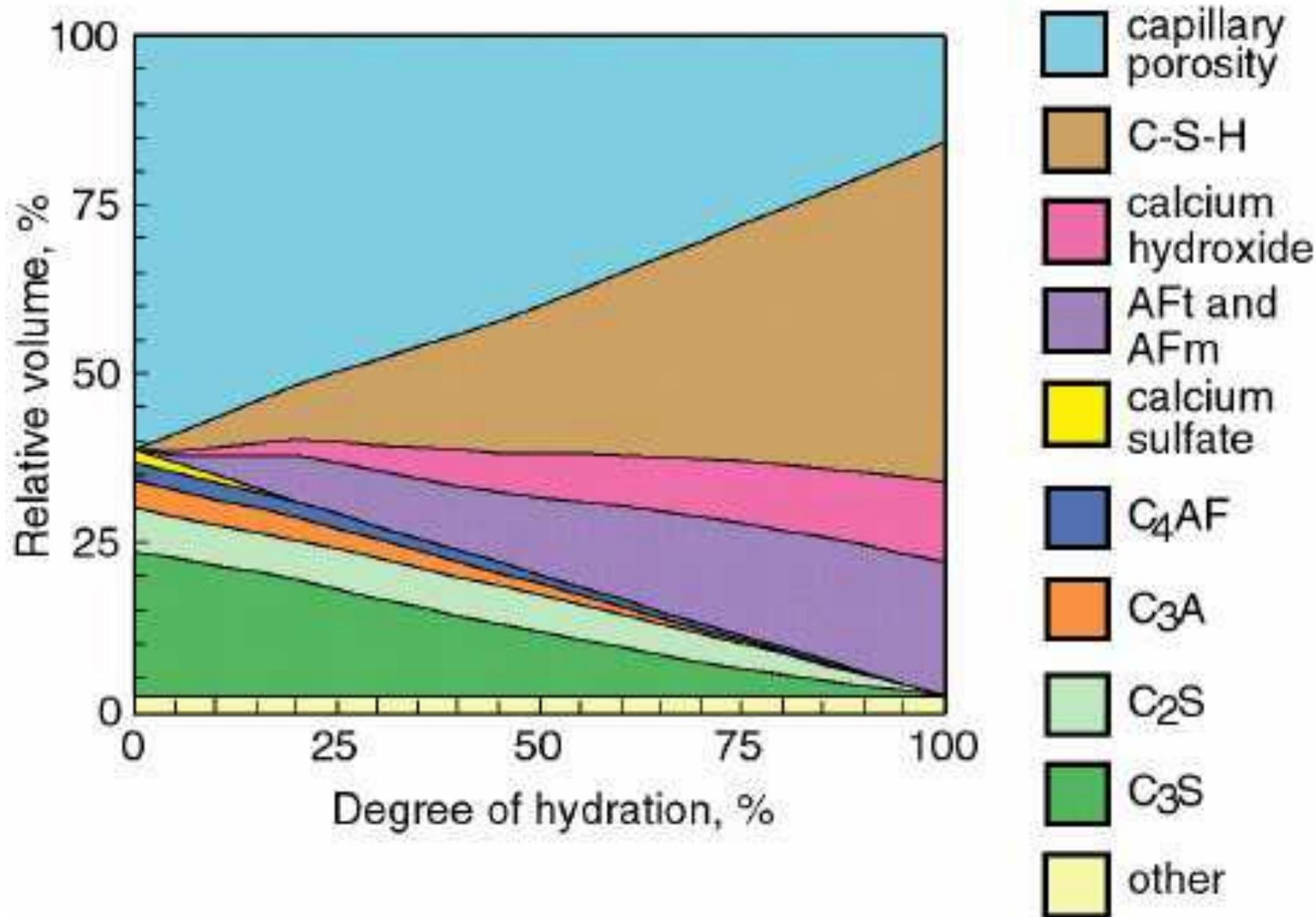
**(a).- Gel consistente en laminillas irregulares.**

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

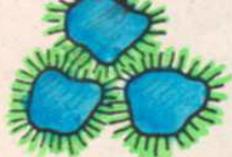
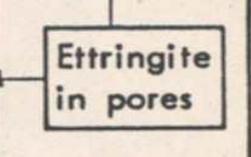
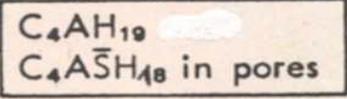
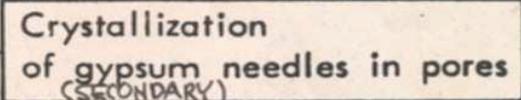
**(c).-  $C_4AH_{19}$  hexagonal y  $C_3AH_6$  cúbico.**

**(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.

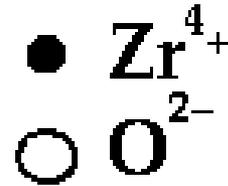
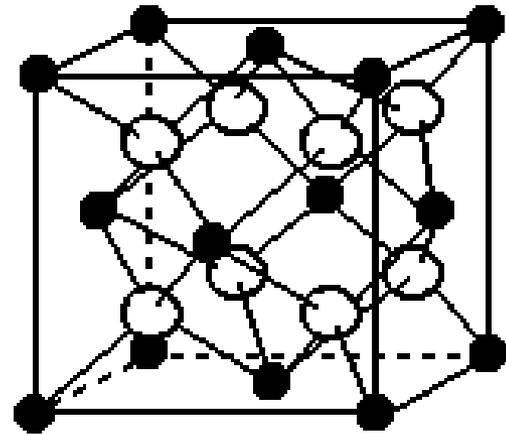


$$R = \frac{[SO_4^{2-}]}{[AlO_2^-]}$$

Reactivity of C <sub>3</sub> 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 <sub>4</sub> AH <sub>10</sub> C <sub>4</sub> AŠH <sub>18</sub> 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  $\text{ZrO}_2$ .
- De forma pura es polimorfo.
- Material quebradizo.
- Al combinarse con algún tipo de óxido refractario, como el de calcio ( $\text{CaO}$ ), el de magnesio ( $\text{MgO}$ ) o el de itrio ( $\text{Y}_2\text{O}_3$ ), 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°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

