

## 2. Equilibrio de Fases : Sistemas Binarios

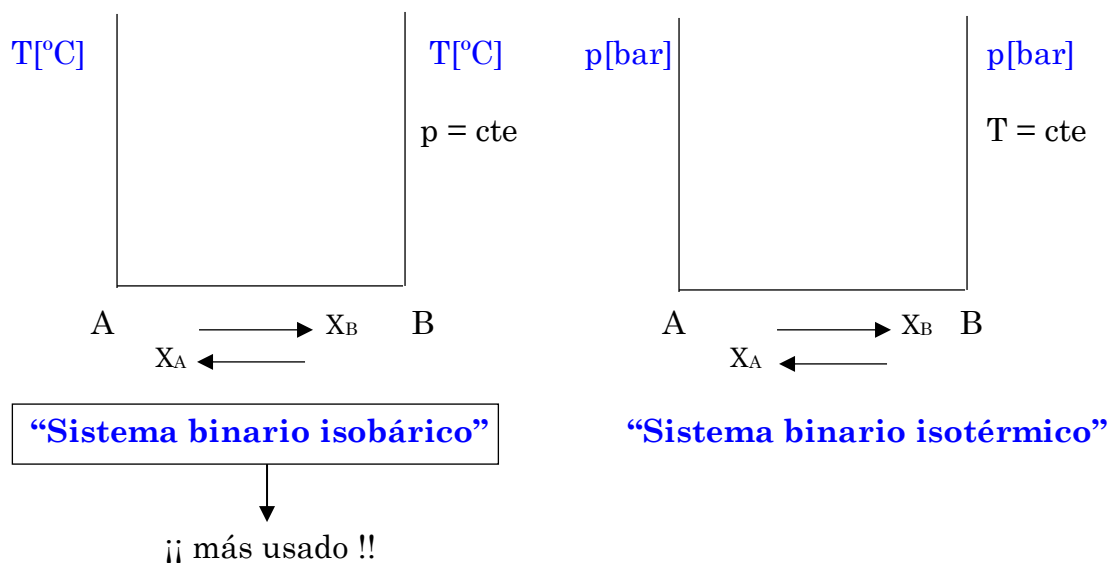
### Introducción

Los **sistemas binarios** son aquellos que están compuestos de 2 componentes ( $C = 2$ ). En Geología, estos sistemas son los más pedagógicos y diagnósticos para expresar el comportamiento de:

- sistemas fundidos sometidos a cristalización (**solidificación de un magma**)
- sistemas sólidos sometidos a fusión (**fusión de rocas ígneas**)

Debido a la presencia de 1 componente más, el sistema se transforma en una mezcla de dos entidades mínimas e independientes, que expresan la composición química total del sistema.

Ya que la composición de la mezcla varía entre 2 extremos (2 componentes), debemos expresar gráficamente el sistema de la siguiente forma:



Podemos apreciar que en ambos casos hemos sacrificado una **variable intensiva** (la presión o temperatura dejada constante) en pro de una **variable extensiva** (la composición o fracción molar del nuevo componente)

Recordando la Regla de las Fases de Gibbs:

$$F + P = C + 2$$

Sin embargo, debemos restar 1 grado de libertad al sistema debido a la pérdida de la variable intensiva “presión”, con lo cual obtenemos la **Regla Condensada de la Fases de Gibbs**:

$$F + P = C + 1$$

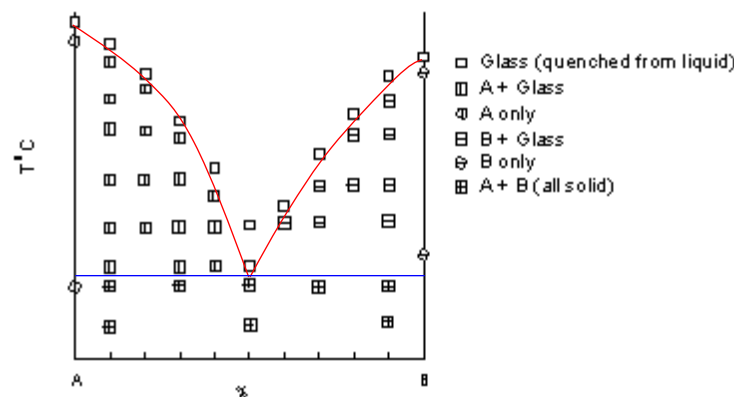
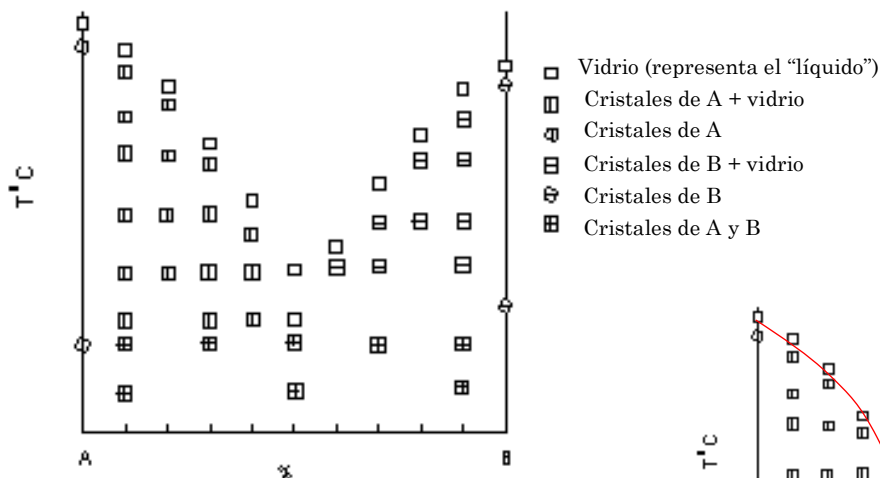
En consecuencia, para sistemas binarios isobáricos el número de fases presentes será:

$$P = 3 - F$$

## Construcción Experimental

Los diagramas de fase binarios son el resultado de estudios experimentales de enfriamiento de fundidos silicatados artificiales de composición conocida. La técnica se denomina “quenching”, y corresponde al enfriamiento controlado del sistema a presión constante.. Consideremos el enfriamiento de once muestras de fundido de composición de diferentes composiciones.

Enfriamiento rápido controlado (quenching) de la muestras en un horno (furnace)



# Sistemas Binarios Isobáricos

## Tipos de Sistemas

### 1. Sistemas Binarios sin solución sólida (Diagrama Eutéctico Simple)

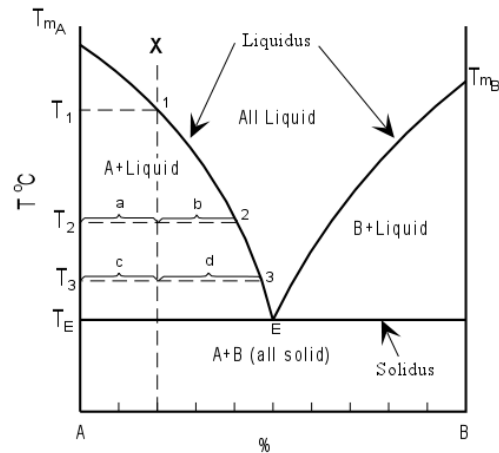


Figure 1

### 2. Sistemas Binarios (SB) con solución sólida

SB con solución sólida **completa**

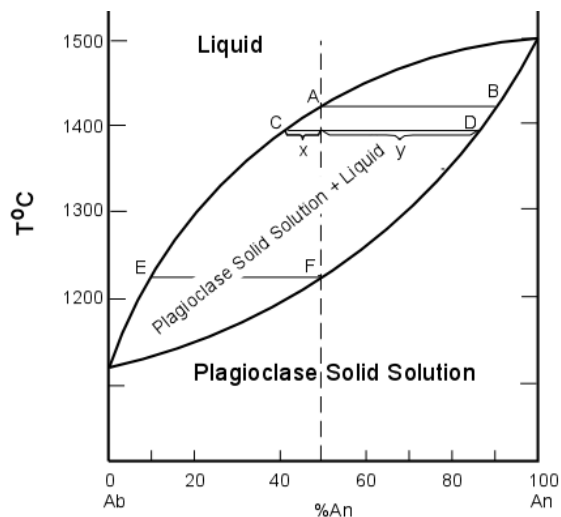


Figure 3

SB con solución sólida **parcial**

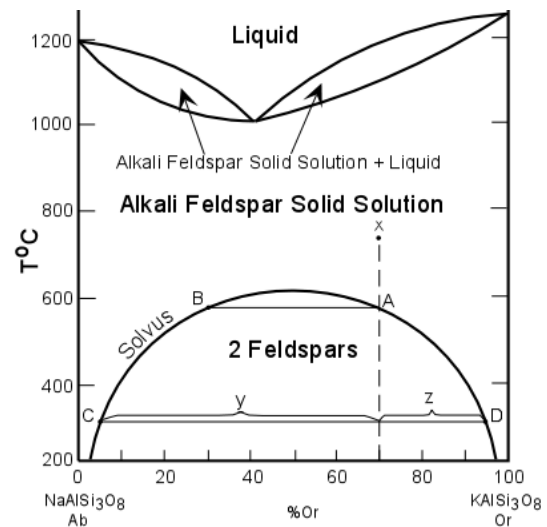
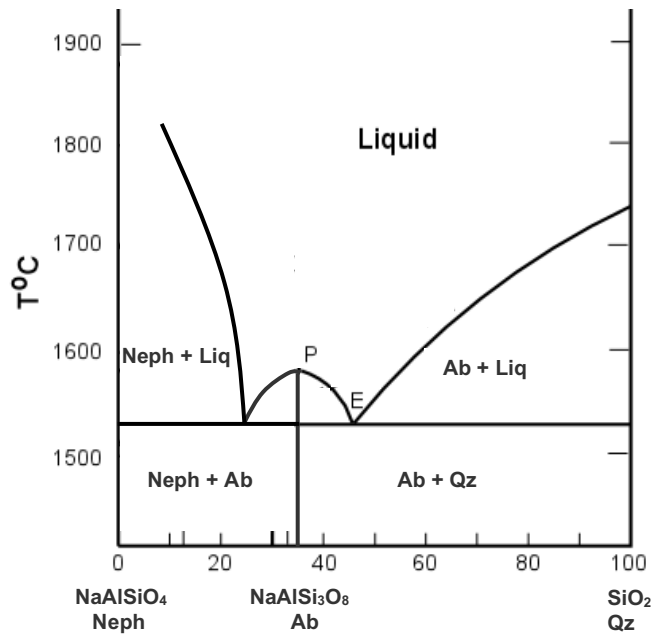


Figure 4

### 3. Sistemas Binarios con reacción (SBR) (o formación de compuesto intermedio)

- SBR con punto de **fusión congruente**



- SBR con punto de **fusión incongruente**: el Diagrama Peritético

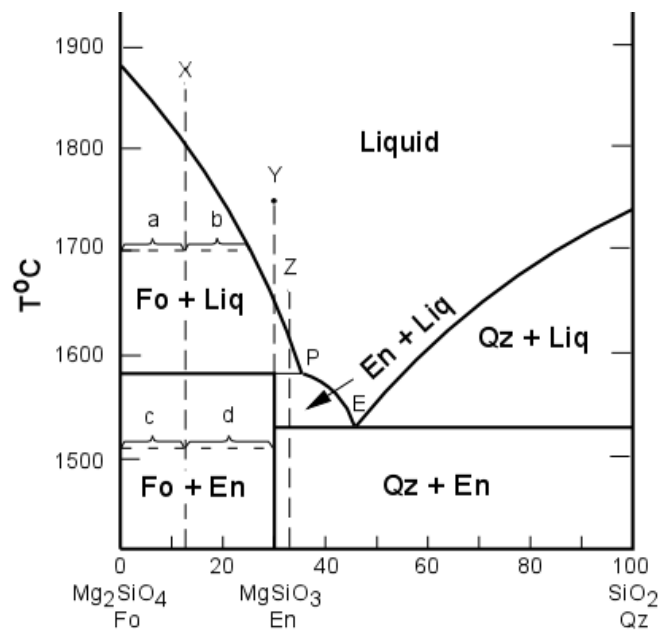
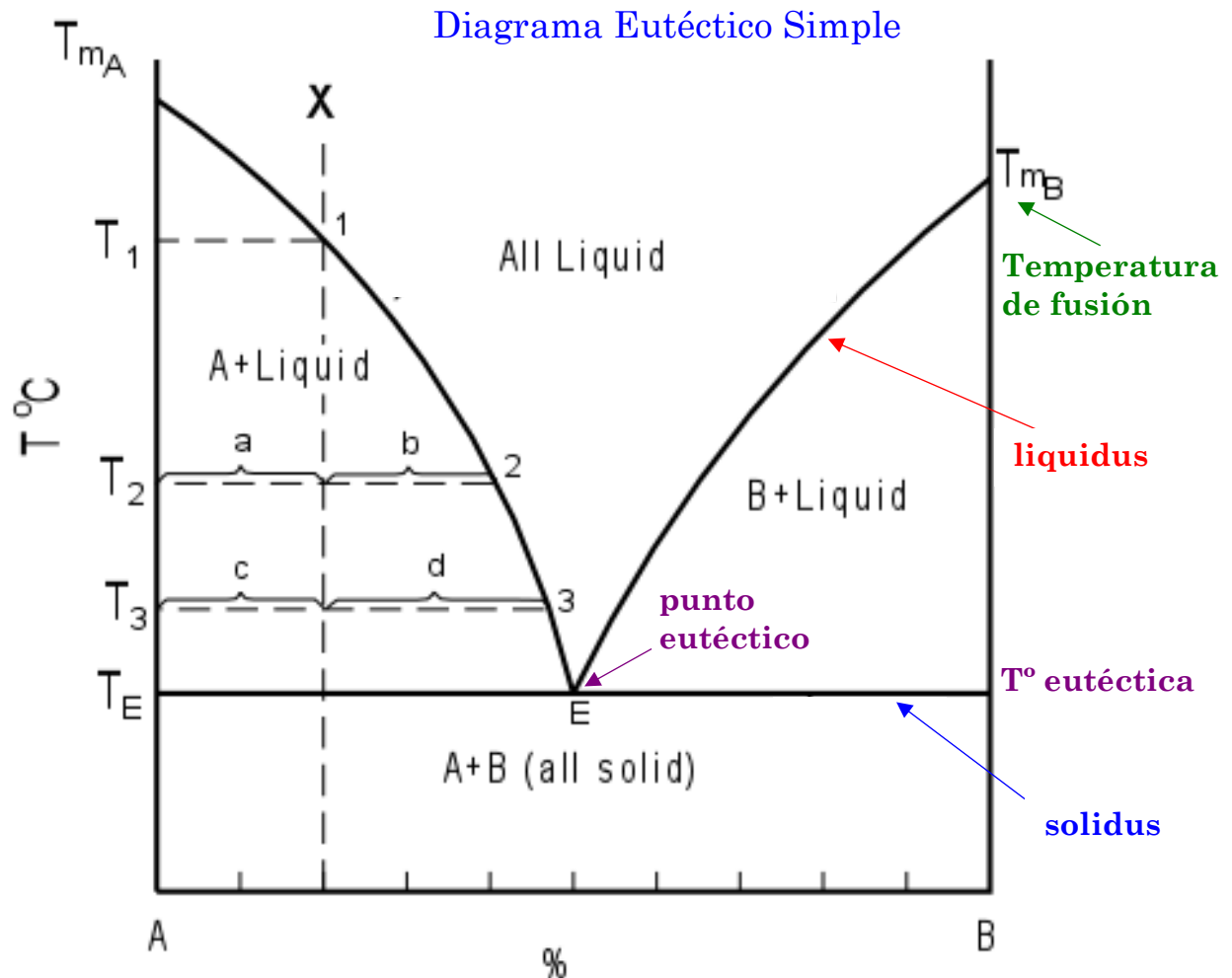


Figure 2

# 1. Sistemas Binarios isobáricos sin solución sólida

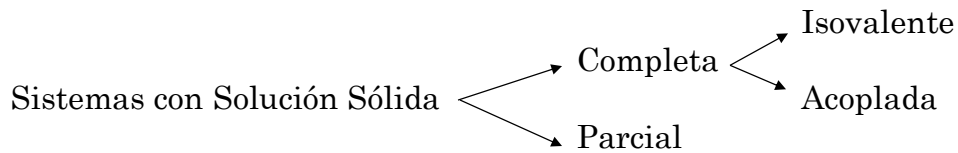


Utilizando la Regla de las Fases:

$$F = 3 - P$$

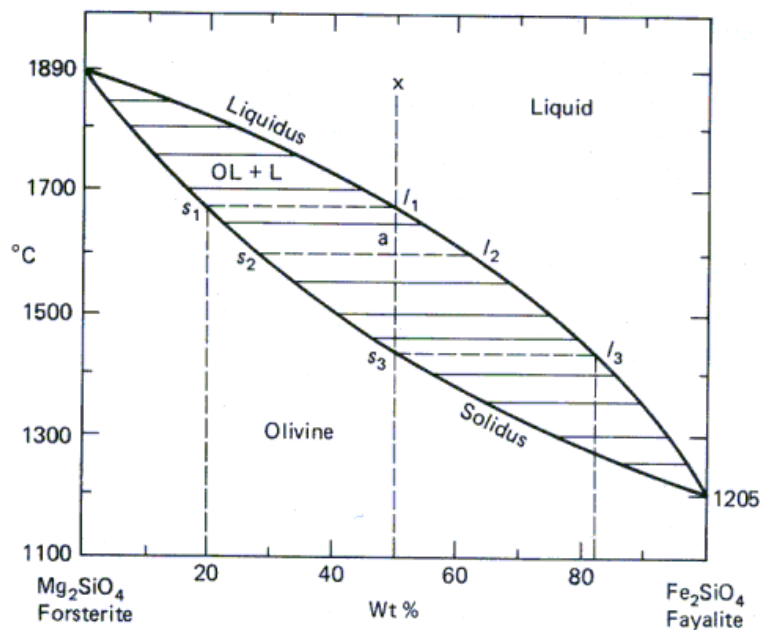
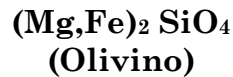
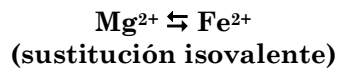
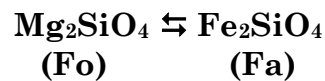
- **campo del líquido:** 1 sola fase, por ende es un **campo bivariante**
- **liquidus:** al aparecer una fase sólida ( $P=2$ ) tenemos  $F=1$  **línea univariante**
- **campo de líquido más sólido:** tenemos 2 fases,  $F=1$  **campo univariante**
- **eutético:** están en equilibrio 2 fases sólidas y la última gota de líquido, tenemos 3 fases y  $F=0$  **punto Invariante**
- **solidus:** están en equilibrio 2 fases sólidas y la última gota de líquido, tenemos 3 fases y  $F=0$  **línea invariante** (temperatura eutética).
- **campo de sólidos:** 2 sólidos ( $P=2$ ),  $F=1$ , **campo univariante**

## 2. Sistemas Binarios isobáricos con solución sólida



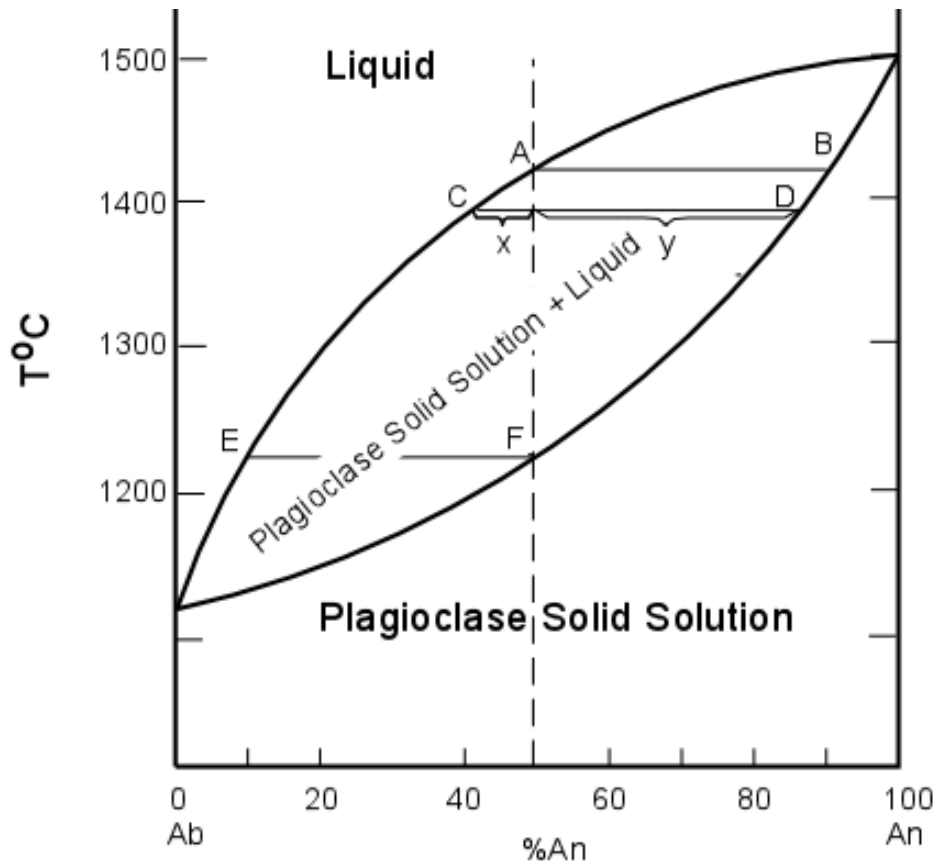
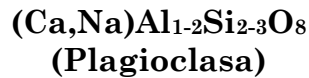
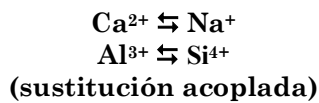
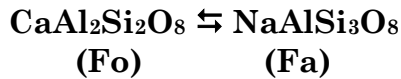
### 2.1 Solución Sólida Completa con Sustitución Isovalente

Tomemos como ejemplo el sistema Forsterita-Fayalita, que describe el comportamiento del olivino en procesos de cristalización magmática. El olivino forma una **solución sólida completa con sustitución isovalente**, es decir, una aleación natural en la cual el Mg y el Fe bivalentes se sustituyen:



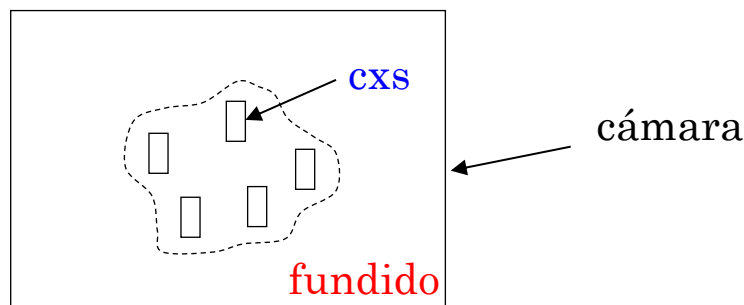
## 2.2 Solución Sólida Completa con Sustitución Acoplada

Tomemos como ejemplo el sistema Albita-Anortita, que describe el comportamiento de las plagioclasas en procesos de cristalización magmática (por ejemplo la serie continua de Bowen). La plagioclase forma una **solución sólida completa con sustitución acoplada**, es decir, una aleación natural en la cual el Ca y el Na, de distinta valencia, se sustituyen entre sí junto con el reemplazo acoplado de Si y Al, con el fin de mantener la neutralidad de la estructura.



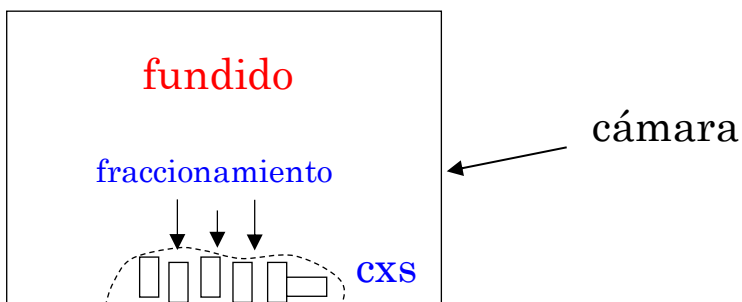
- Cristalización/Fusión en Equilibrio

- La composición final de los cristales (sólido) **es idéntica** a la composición inicial del fundido (líquido), independiente del camino de cristalización.
- Los cristales se mantienen en contacto o equilibrio con el líquido durante toda la evolución de la cristalización.



- Cristalización/Fusión Fraccionada

- La composición final de los cristales (sólido) **es diferente** a la composición inicial del fundido (líquido).
- Los cristales son separados o fraccionados del líquido por procesos físicos en la cámara magmática, por lo que pierden el equilibrio con el líquido.



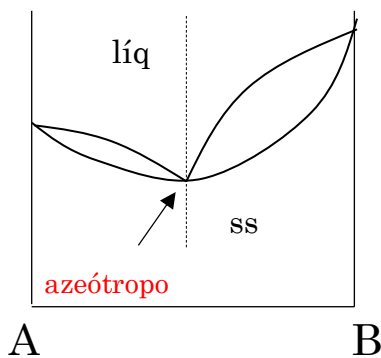


## Solución sólida completa con máximo o mínimo térmico

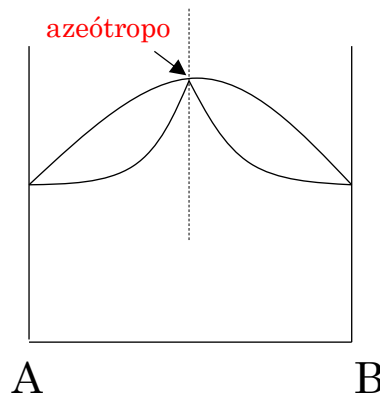
Corresponden a variaciones del sistema binario con solución sólida completa. La diferencia radica en la presencia de un **punto azeótropo**, que puede corresponder a un mínimo o máximo térmico según sea el caso:

### Azeótropos

Mínimo térmico



Máximo térmico



Los **azeótropos** (sean mínimo o máximos térmicos) no son puntos **eutécticos**

Al cristalizar, pasamos de un líquido de composición “x” directamente a un sólido de composición “x”, sin pasar por pasos intermedios de “cxs + líq”.

**En el azeótropo, la composición del líquido es igual a la del sólido.**

## 2.2 Solución Sólida Parcial

Tomemos como ejemplo el sistema Albita-Ortoclasa. A altas temperaturas, estos dos componentes forman una **solución sólida completa isovalente**. Sin embargo, bajo determinadas condiciones de temperatura y composición (“gap de miscibilidad”), la estructura cristalina de solución sólida homogénea Ab-Or se hace inestable. Este proceso se conoce como **exsolución** o **desmezcla** o **separación**, y corresponde a la separación de una solución sólida homogénea en dos soluciones sólidas inmiscibles, bajo la línea del “solvus”.

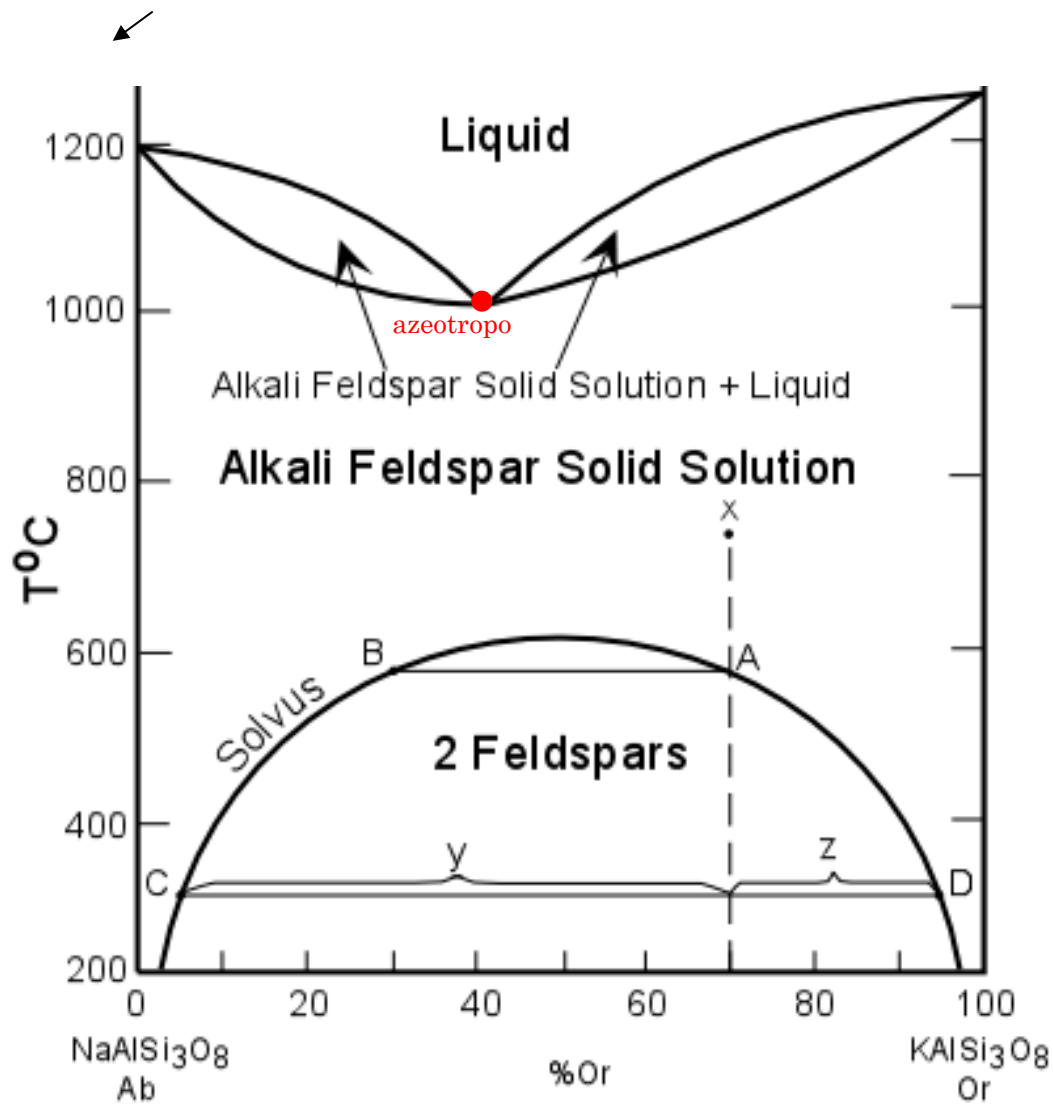
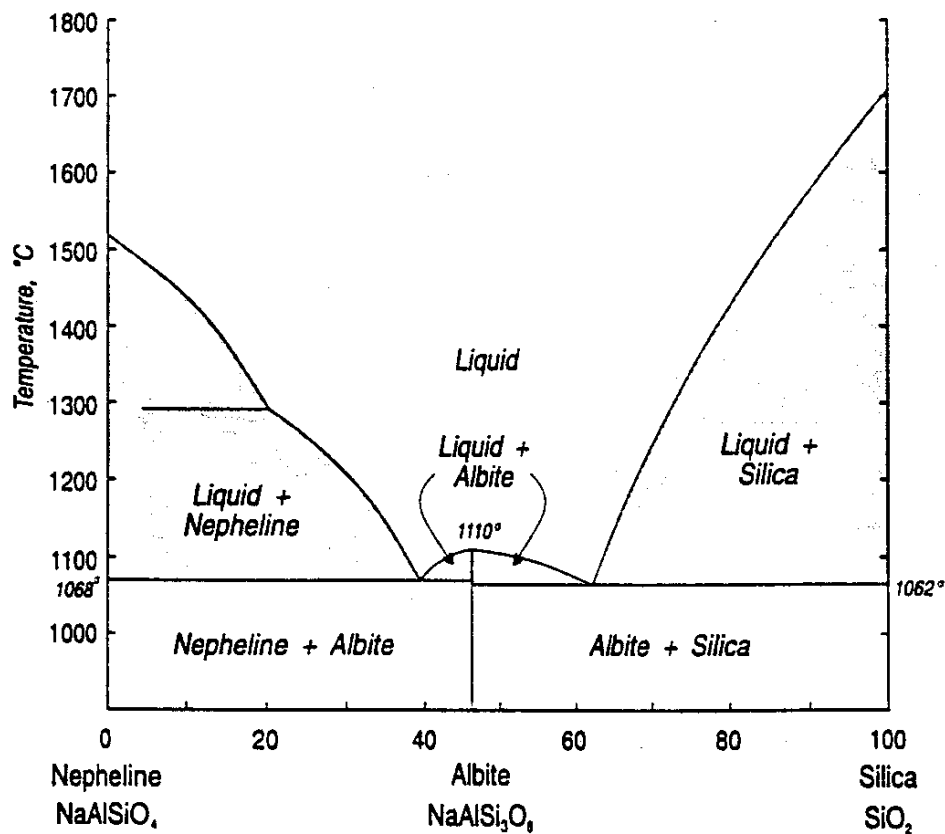
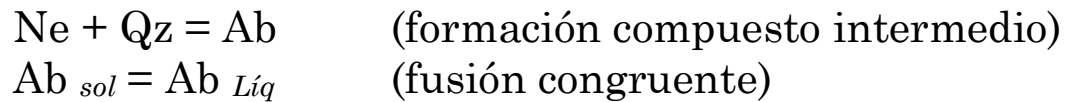


Figure 4

## 2. Sistemas Binarios isobáricos con reacción

### 2.2 Sistemas con reacción:

formación de compuesto con punto de fusión congruente



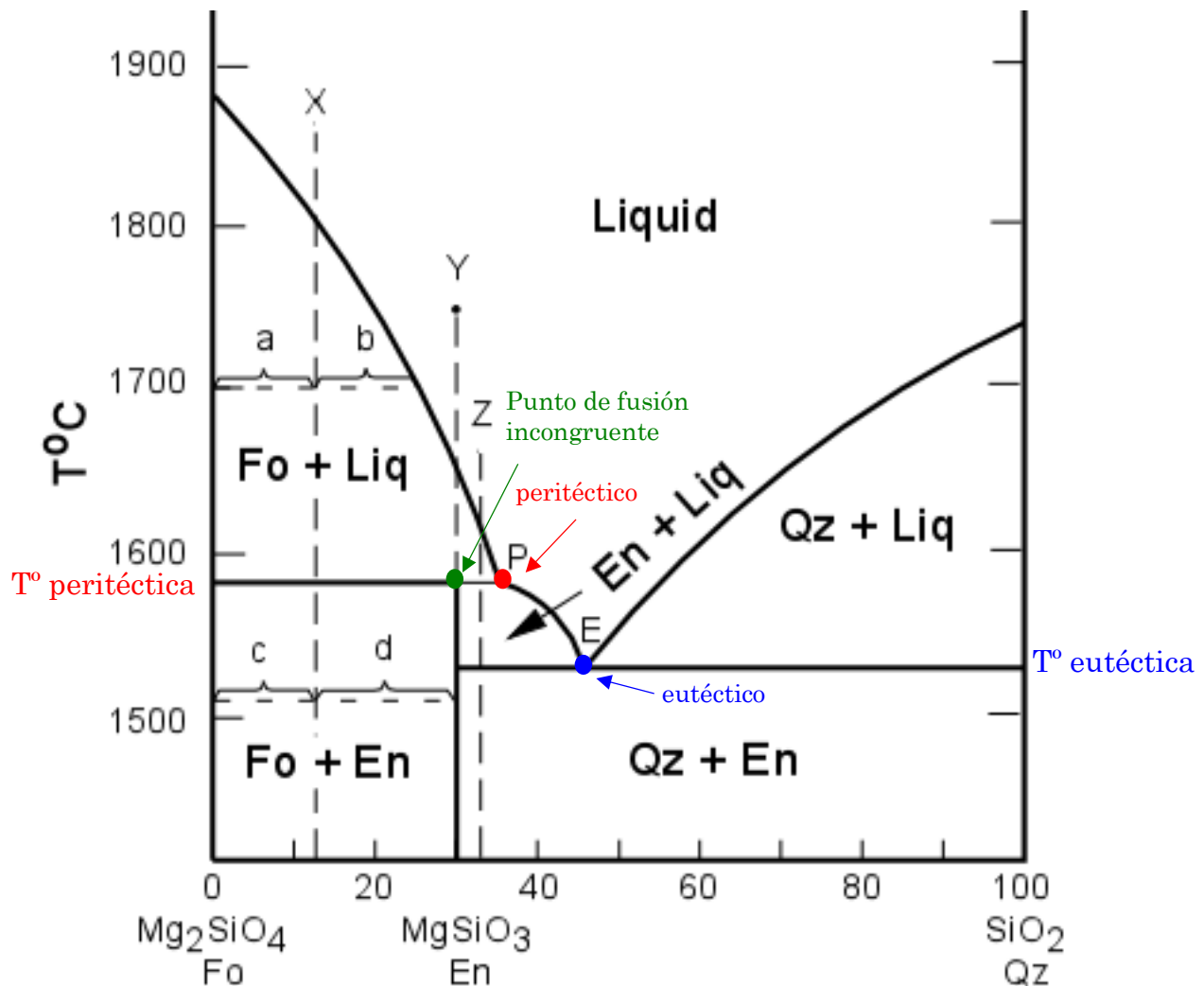
**Fusión congruente:** el líquido resultante de la fusión tiene la misma composición del sólido (azeótropo).

## 2.3 Sistemas con reacción:

formación de compuesto con punto de fusión incongruente

$\text{Fo} + \text{Qz} = \text{En}$  (formación compuesto intermedio)

$\text{En} = \text{Fo} + \text{Liq}_P$  (fusión incongruente)



**Fusión incongruente:** el líquido resultante de la fusión NO tiene la misma composición del sólido (reacción peritética). En estos sistemas no existe máximo térmico.