

# Física dos Materiais – 4300502

1º Semestre de 2016

Instituto de Física  
Universidade de São Paulo

Professor: **Luiz C. C. M. Nagamine**

E-mail: [nagamine@if.usp.br](mailto:nagamine@if.usp.br)

Fone: **3091.6877**

homepage: <http://disciplinas.stoa.usp.br/course/view.php?id=10070>

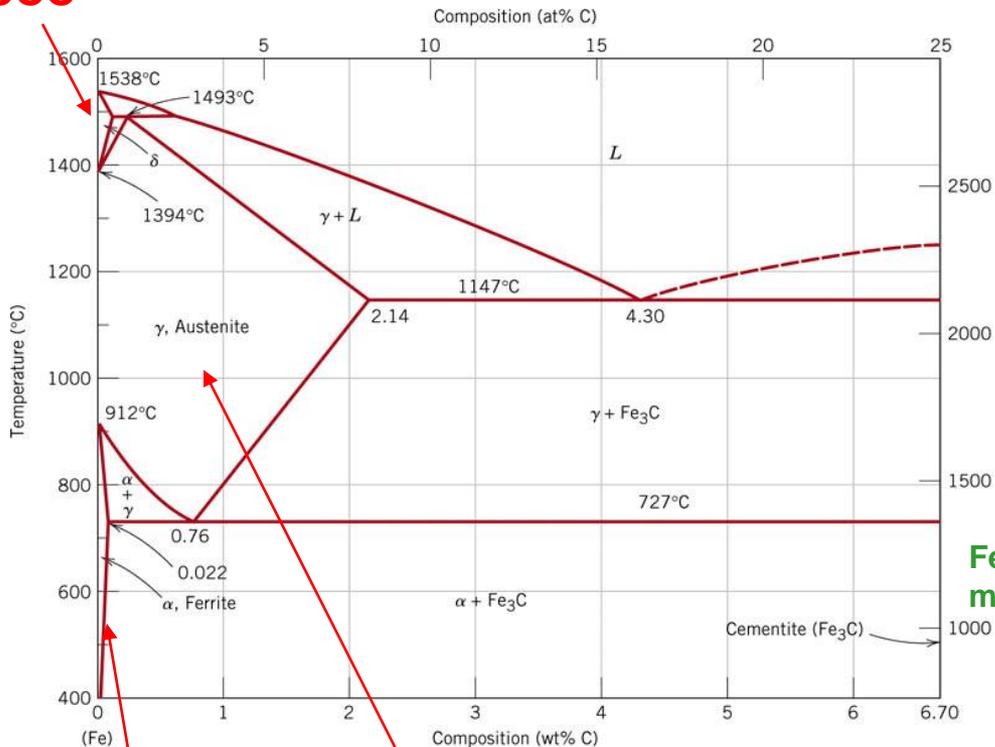
# Diagramas de Fases em condições de equilíbrio

## Sistema Fe-Fe<sub>3</sub>C

### Composição eutetóide

(carbeto de ferro ou cementita)

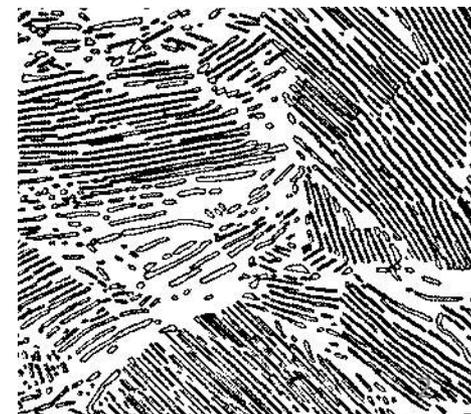
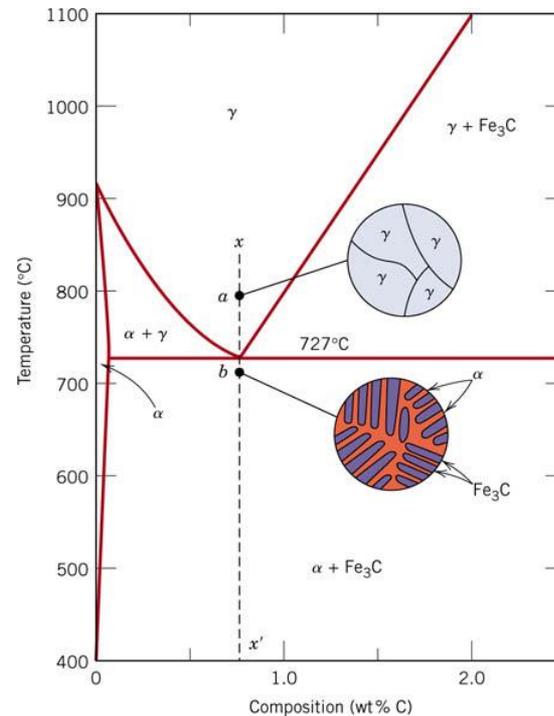
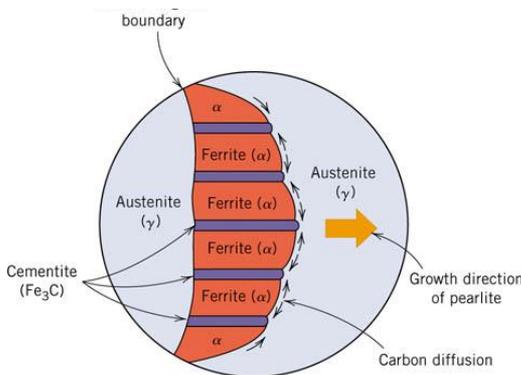
CCC



Fe<sub>3</sub>C é metaestável

CCC

CFC

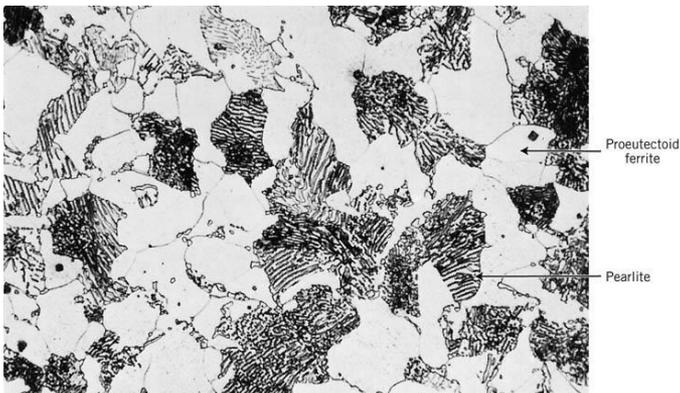
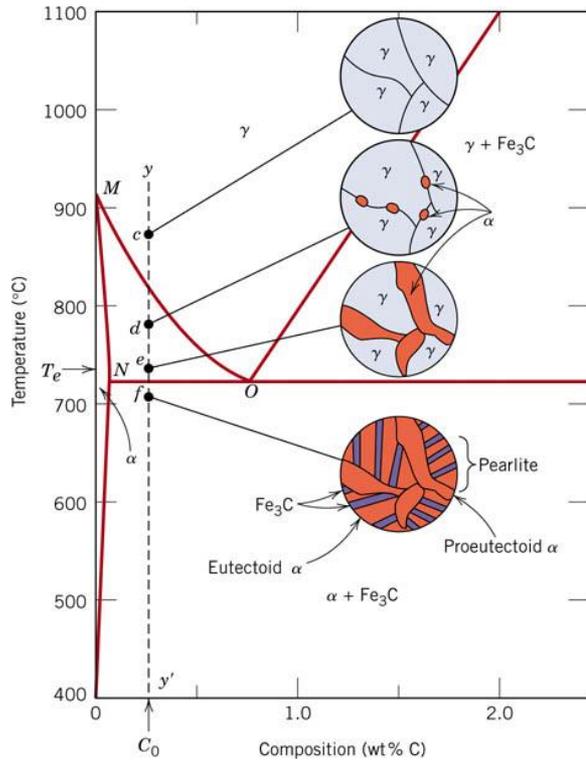


20  $\mu\text{m}$

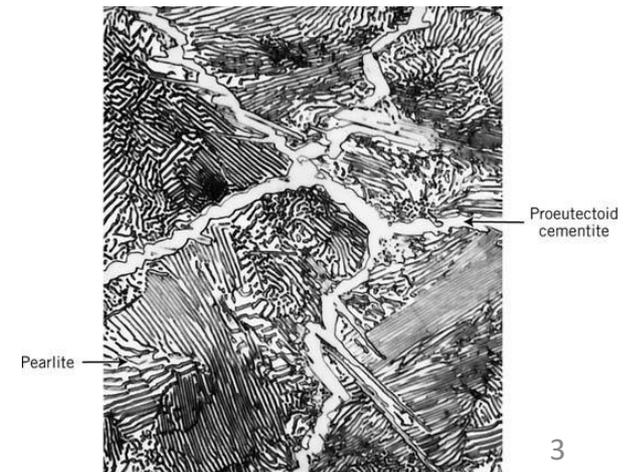
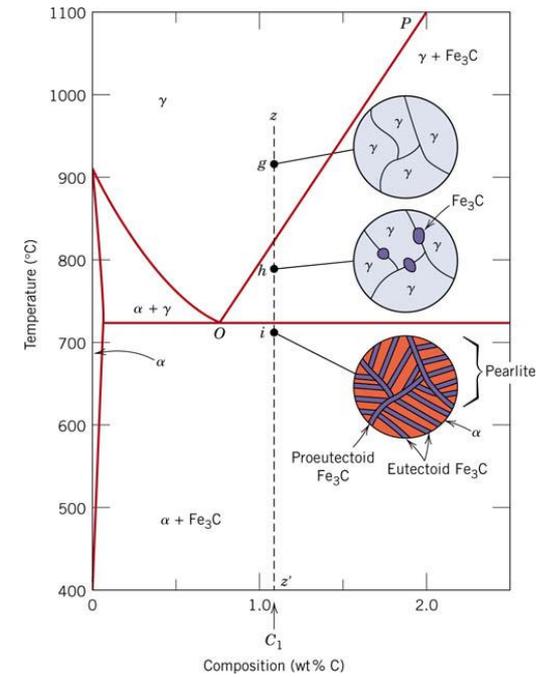
# Diagramas de Fases em condições de equilíbrio

## Sistema Fe-Fe<sub>3</sub>C

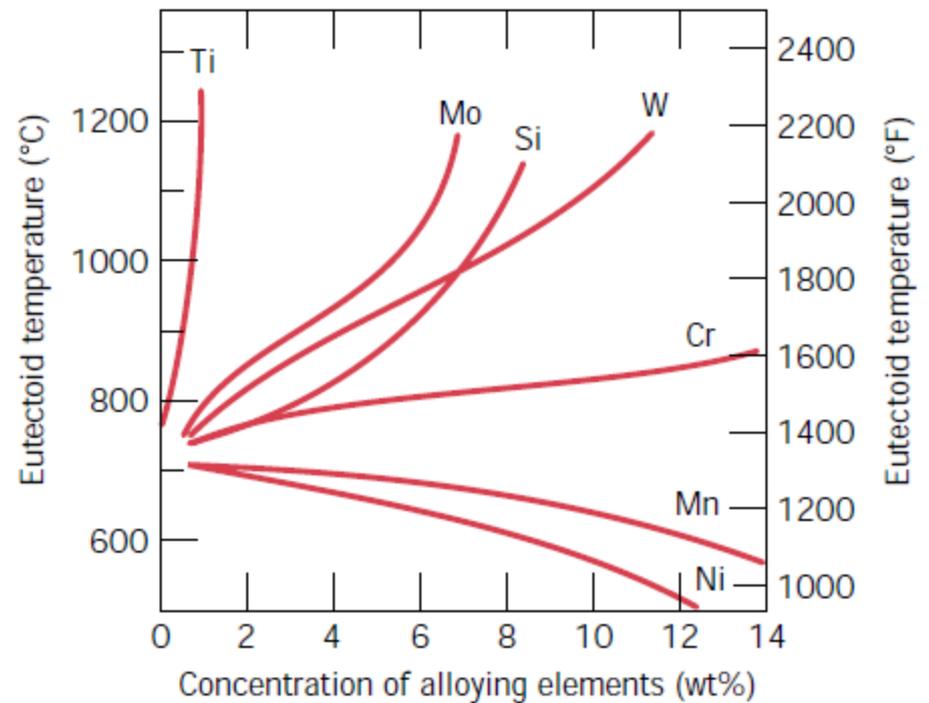
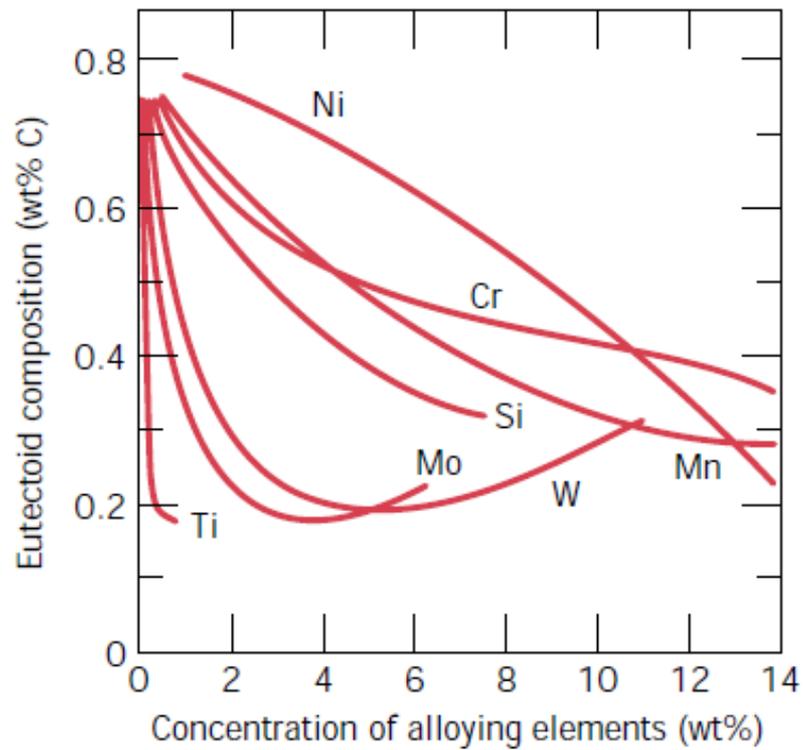
### Composição hipo-eutetóide



### Composição hiper-eutetóide



# A INFLUÊNCIA DE OUTROS ELEMENTOS DE LIGA



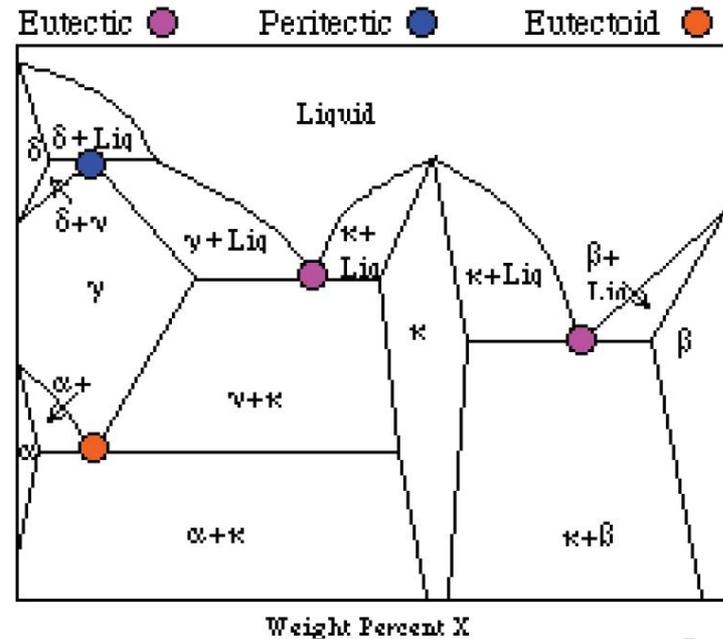
# Diagramas de Fases Binários

## Nomenclatura

Eutectic	$L \rightarrow \alpha + \beta$	
Peritectic	$\alpha + L \rightarrow \beta$	
Monotectic	$L_1 \rightarrow L_2 + \alpha$	
Eutectoid	$\gamma \rightarrow \alpha + \beta$	
Peritectoid	$\alpha + \beta \rightarrow \gamma$	

Fonte: Donald R. Askeland; Pradeep P. Phulé - The Science and Engineering of Materials, 4th ed.

## Exemplos



## A REGRA DE FASE|DE GIBBS

$$P + F = C + N \quad (9.13)$$

onde  $P$  é o número de fases presentes (o conceito de fase é discutido na Seção 9.3). O parâmetro  $F$  é denominado o *número de graus de liberdade* ou o número de variáveis externamente controladas (por exemplo, temperatura, pressão, composição) que devem ser especificadas para definir completamente o estado do sistema. Ou, expresso de outra maneira,  $F$  é o número destas variáveis que podem ser mudadas independentemente sem alterar o número de fases que coexistem em equilíbrio. O parâmetro  $C$  na equação 9.13 representa o número de componentes no sistema.

Finalmente,  $N$  na Equação 9.13 é o número de variáveis não-composicionais (por exemplo, temperatura e pressão).

Demonstremos a regra de fases aplicando-a a diagramas de fase temperatura-composição binários, especificamente sistema cobre-prata, Figura 9.6. De vez que a pressão é constante (1 atm), o parâmetro  $N$  é 1 - temperatura é a única variável não-composicional. Equação 9.13 agora toma a forma

$$P + F = C + 1 \quad (9.14)$$

Além disso, o número de componentes  $C$  é 2 (isto é, Cu e Ag) e

$$P + F = 2 + 1 = 3$$

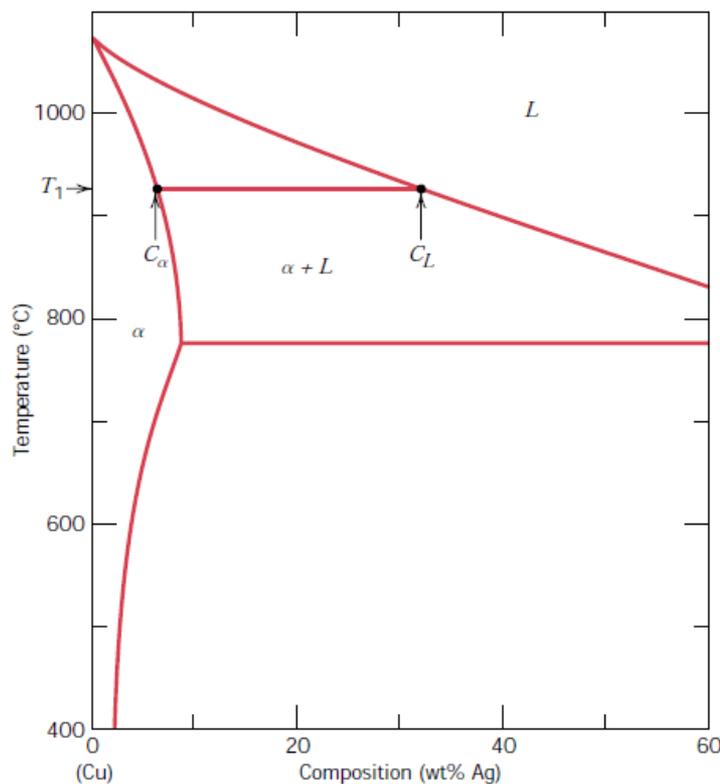
ou

$$F = 3 - P$$

Considere-se o caso dos campos monofásicos do diagrama de fases (por exemplo, regiões de  $\alpha$ ,  $\beta$  e líquido). De vez que somente uma fase está presente,  $P = 1$  e

$$F = 3 - P = 3 - 1 = 2$$

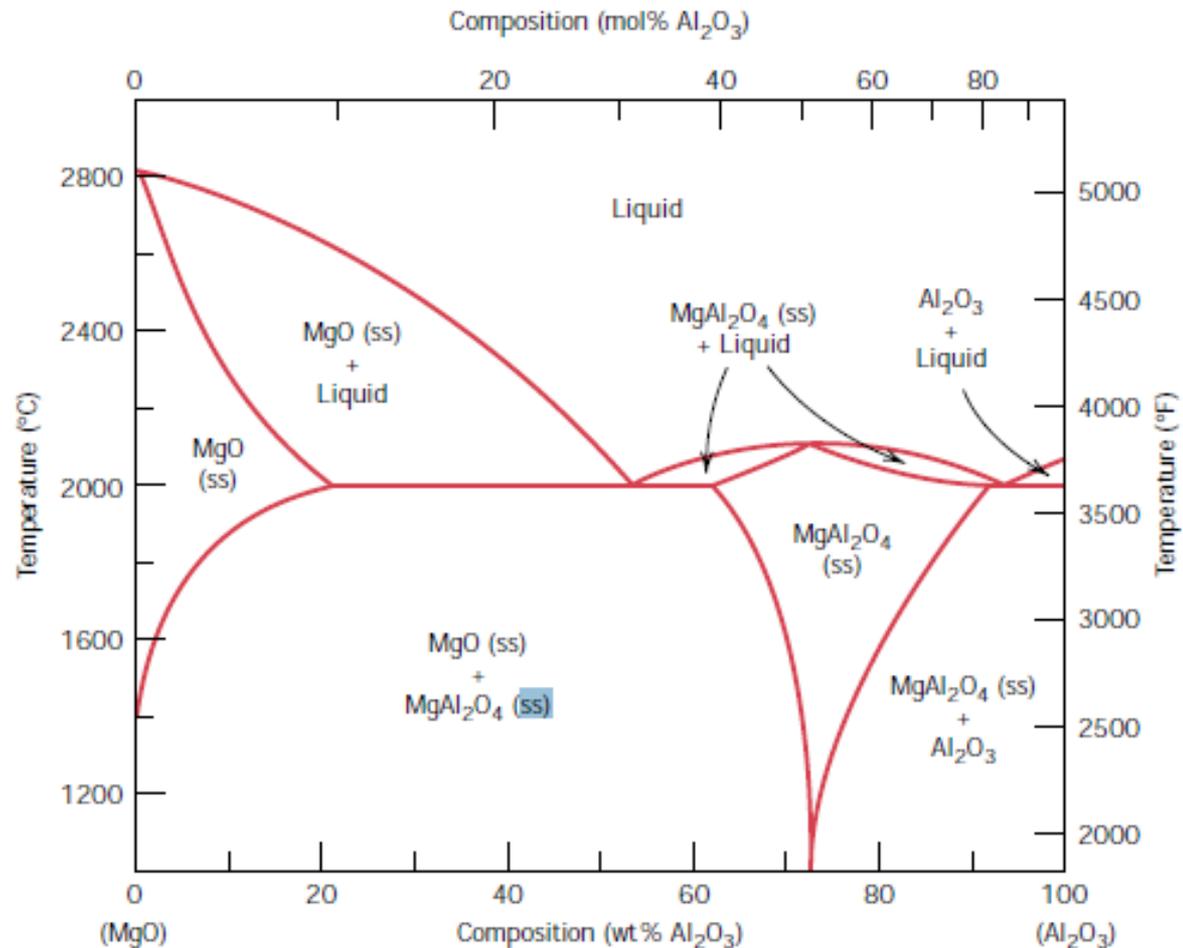
Assim, é necessário especificar ou a temperatura ou a composição de uma das fases para definir completamente o sistema. Por exemplo, suponha que nós decidimos especificar a temperatura para a região de fase  $\alpha + L$ , digamos,  $T_1$  na Figura 9.19. As composições das fases  $\alpha$  e líquido ( $C_\alpha$  e  $C_L$ ) são assim ditadas pelas extremidades da linha de ligação construídas em  $T_1$  através do campo  $\alpha + L$ . As composições das fases  $\alpha$  e líquido ( $C_\alpha$  e  $C_L$ ) são assim ditadas pelas extremidades da linha de ligação construída em  $T_1$  através do campo  $\alpha + L$ . Dever-se-ia notar que apenas a natureza das fases é importante neste tratamento e não as quantidades relativas. Isto é para dizer que a composição global da liga poderia situar-se em qualquer lugar ao longo da linha de ligação construída na temperatura  $T_1$  e ainda fornece composições  $C_\alpha$  e  $C_L$  para as respectivas fases  $\alpha$  e líquido.



**FIGURE 10.25** Enlarged copper-rich section of the Cu-Ag phase diagram in which the Gibbs phase rule for the coexistence of two phases (i.e.,  $\alpha$  and  $L$ ) is demonstrated. Once the composition of either phase (i.e.,  $C_\alpha$  or  $C_L$ ) or the temperature (i.e.,  $T_1$ ) is specified, values for the two remaining parameters are established by construction of the appropriate tie line.

## Diagrama de fases cerâmicos

**FIGURE 10.22**  
 The magnesium oxide–aluminum oxide phase diagram; ss denotes solid solution.  
 (Adapted from B. Hallstedt, “Thermodynamic Assessment of the System MgO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,” *J. Am. Ceram. Soc.*, **75** [6] 1502 (1992). Reprinted by permission of the American Ceramic Society.)



## Diagramas de Fases Ternários

### Sistema $\text{SiO}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$

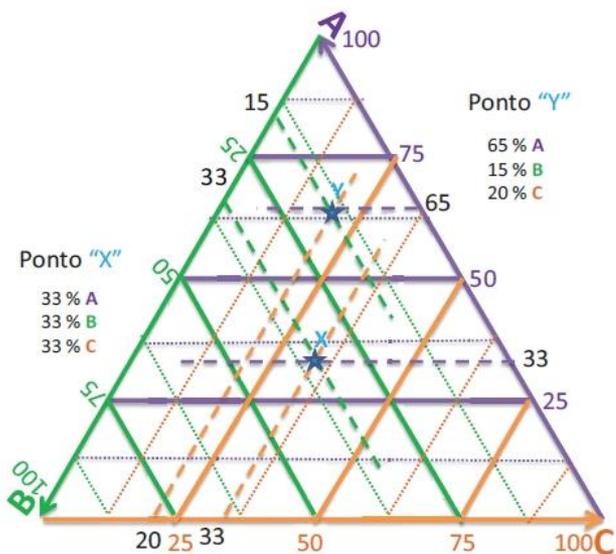
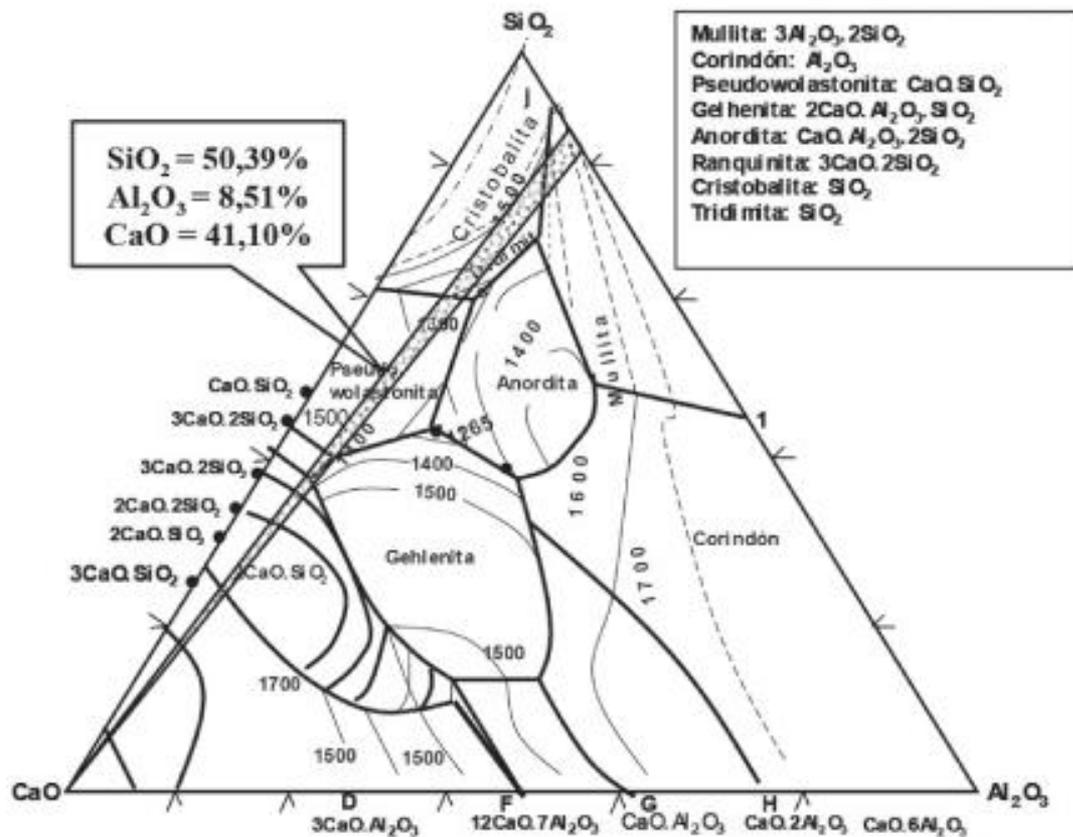
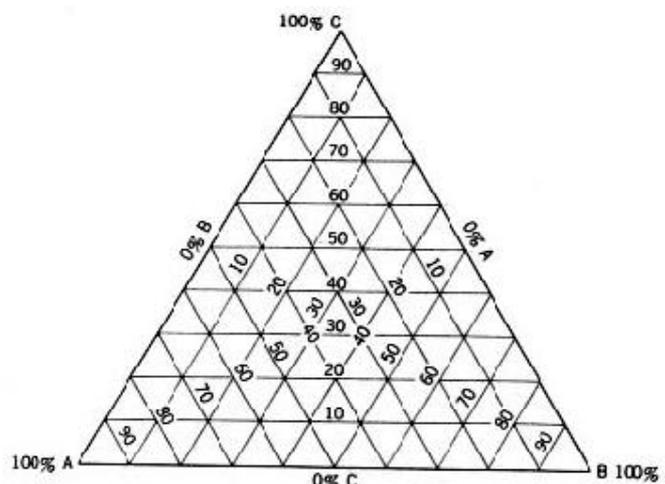


Figura 1. Representación en el diagrama de fase de la composición química más idónea de la matriz cuasicerámica a partir de la mezcla mineral: feldespato, zeolita y calcita [10].

Soldag. insp. vol.15 no.2 (2010)