

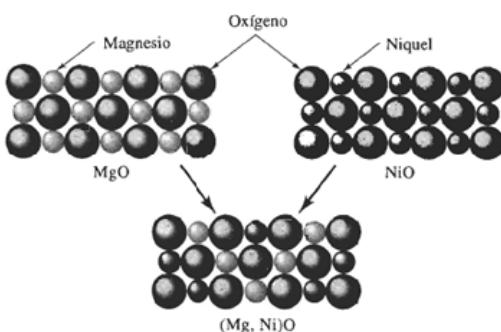
## Capítulo 6

### Aleaciones

#### 1.6. Aleaciones Ferrosas y No Ferrosas

##### 1.6.1. Reglas de Hume-Rotery

- Factor de tamaño:** los átomos deben ser de tamaño similar, con no más del 15 por ciento de diferencia en su radio atómico, a fin de minimizar deformaciones en la red.
- Estructura cristalina:** los materiales deberán tener una misma estructura cristalina; de lo contrario, existirá algún punto en el cual ocurrirá la transición de una fase a otra con estructura distinta.
- Valencia:** los átomos deberán tener la misma valencia; de lo contrario, la diferencia de electrones de valencia alentará la formación de compuestos, en vez de la formación de soluciones.
- Electronegatividad:** los átomos deben tener aproximadamente la misma electronegatividad. Si las electronegatividades difieren de manera significativa, de nuevo se formarán compuestos, como cuando se combina sodio y cloro para formar cloruro de sodio.



Solución  
Sólida  
Ilimitada

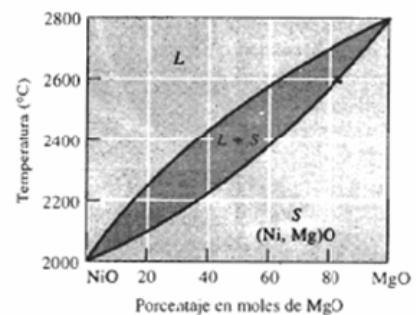


Figura 71 El MgO y el NiO poseen estructuras cristalinas, radios iónicos y valencias similares; de ahí que los dos materiales metálicos puedan formar soluciones sólidas

##### 1.6.2. Diagramas de fases

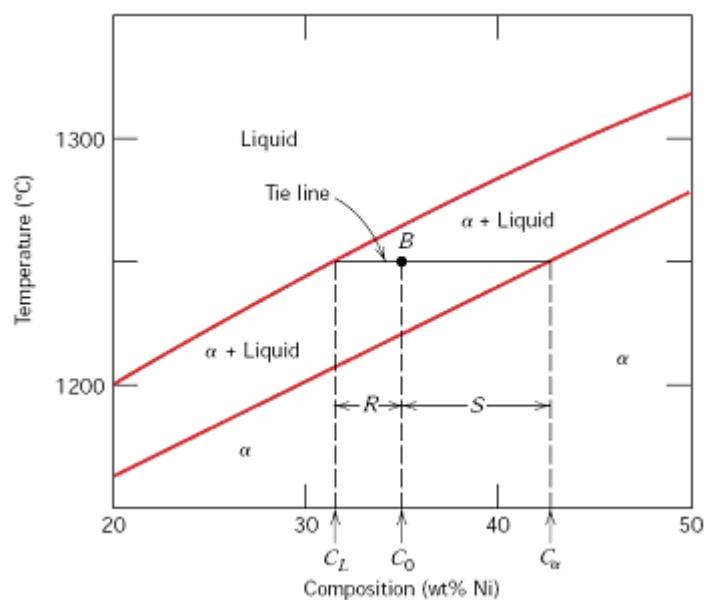
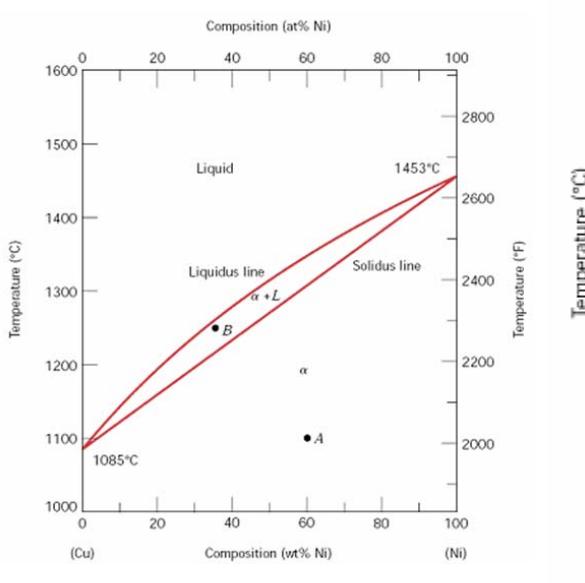


Figura 72 Diagrama de fases isomórfico cobre – níquel y aplicación de la regla de la palanca

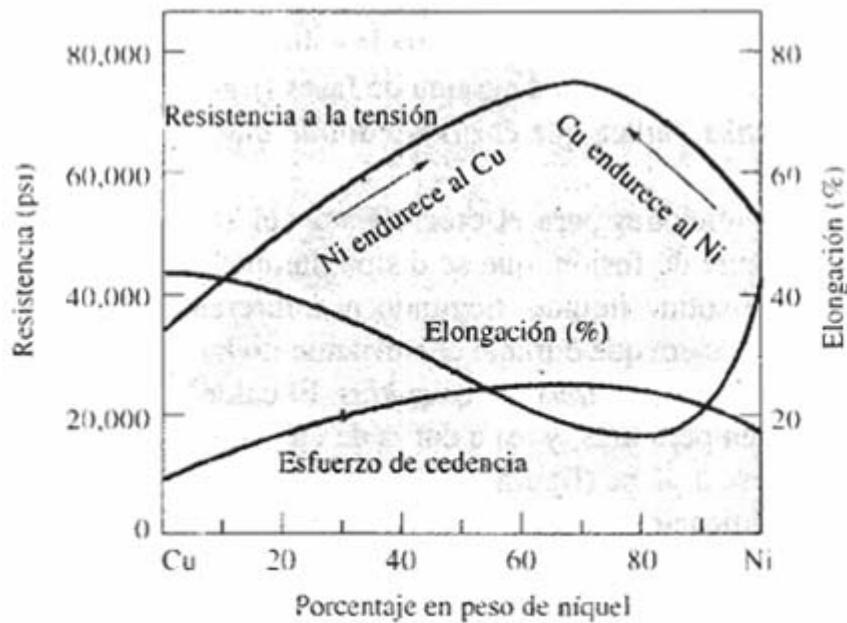


Figura 73 Efecto de la composición sobre las propiedades mecánicas de la aleación Cu - Ni

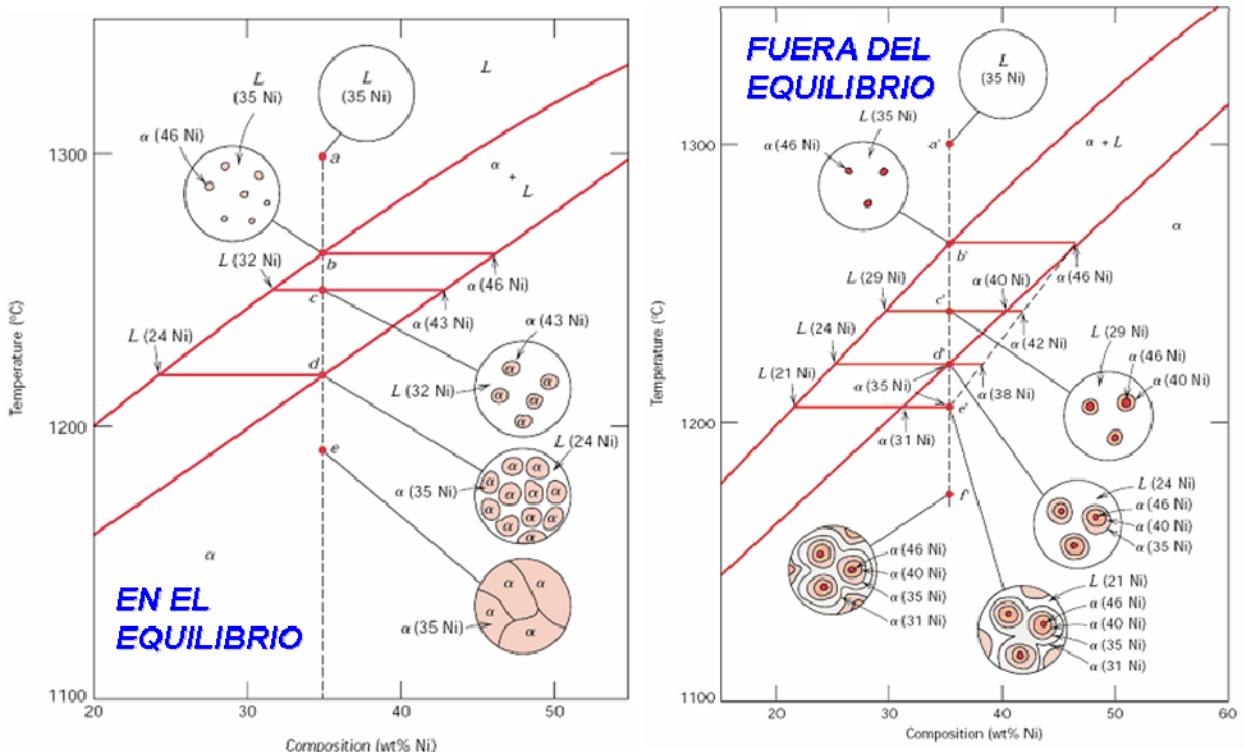
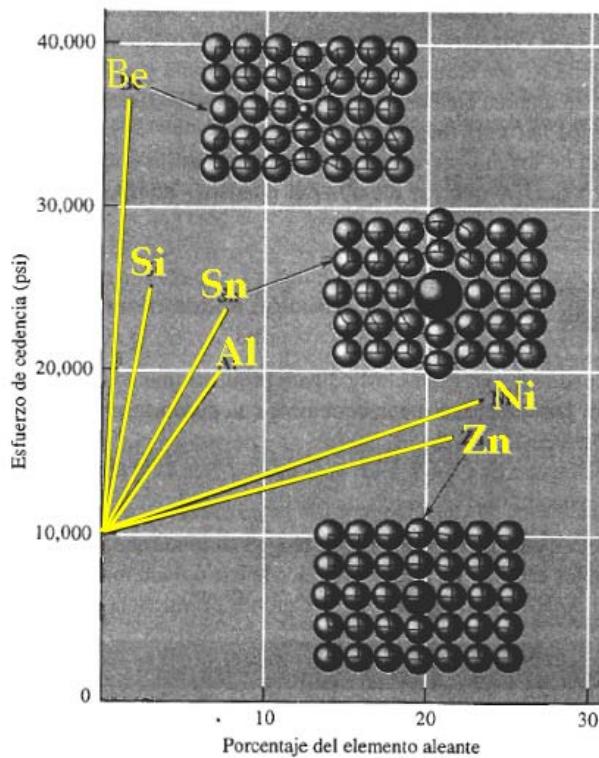


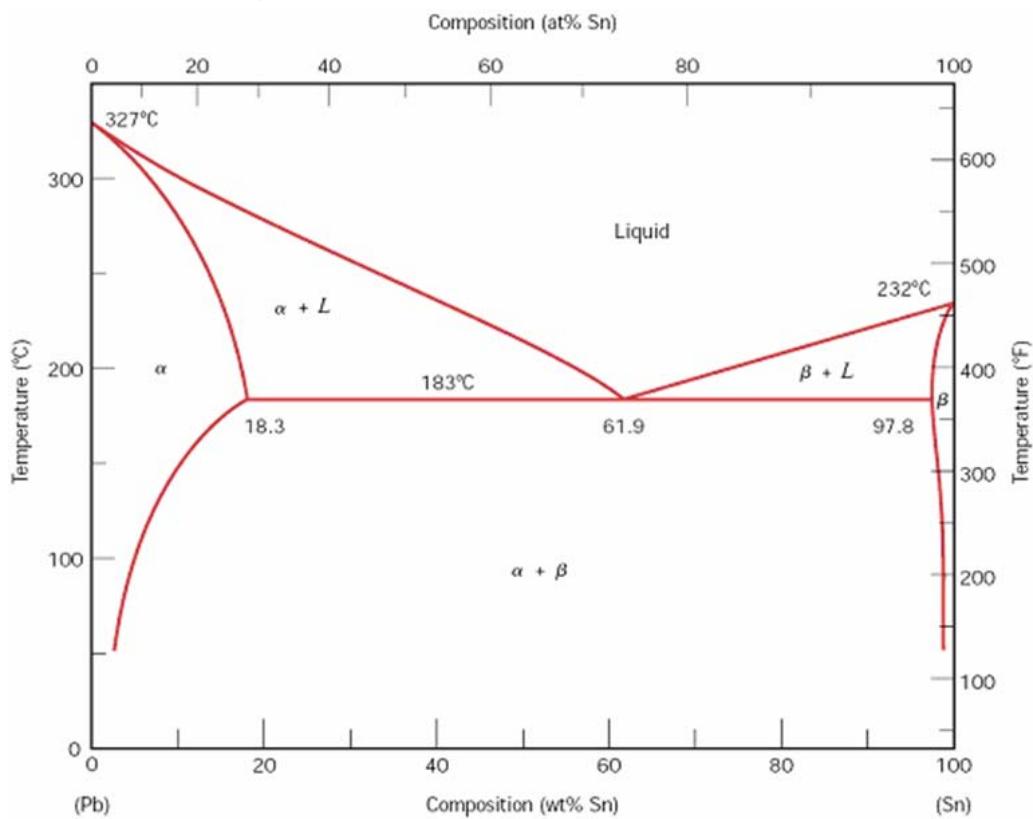
Figura 74 Desarrollo de la micro-estructura durante la solidificación de una aleación de 35% Ni - 65% Cu: Izq. Solidificación en el equilibrio; Der. Solidificación fuera del equilibrio (Callister, 2001)

### 1.6.3. Endurecimiento por solución sólida



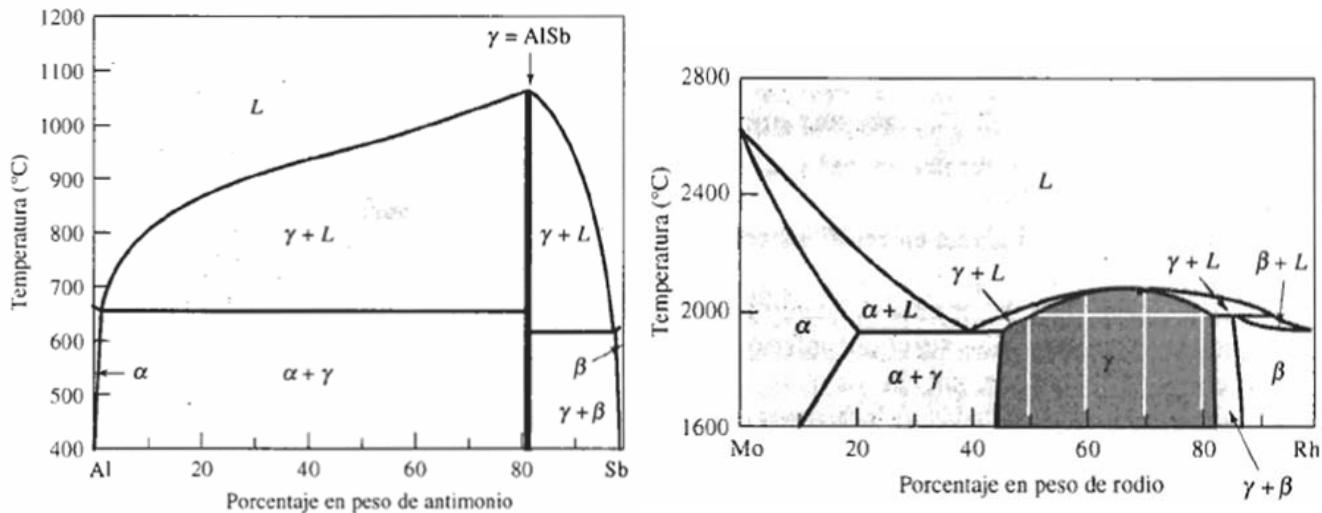
**Figura 75** Efecto de varios elementos de aleación sobre el esfuerzo de cedencia del cobre. Los átomos de níquel y zinc tienen aproximadamente el mismo tamaño que los átomos de cobre, pero los de berilio y estaño tienen tamaños muy diferentes a los del cobre. Aumentando la diferencia en tamaño atómico y la cantidad de elemento aleante, se incrementa el endurecimiento por solución sólida

### 1.6.4. Diagrama eutéctico con solución sólida limitada

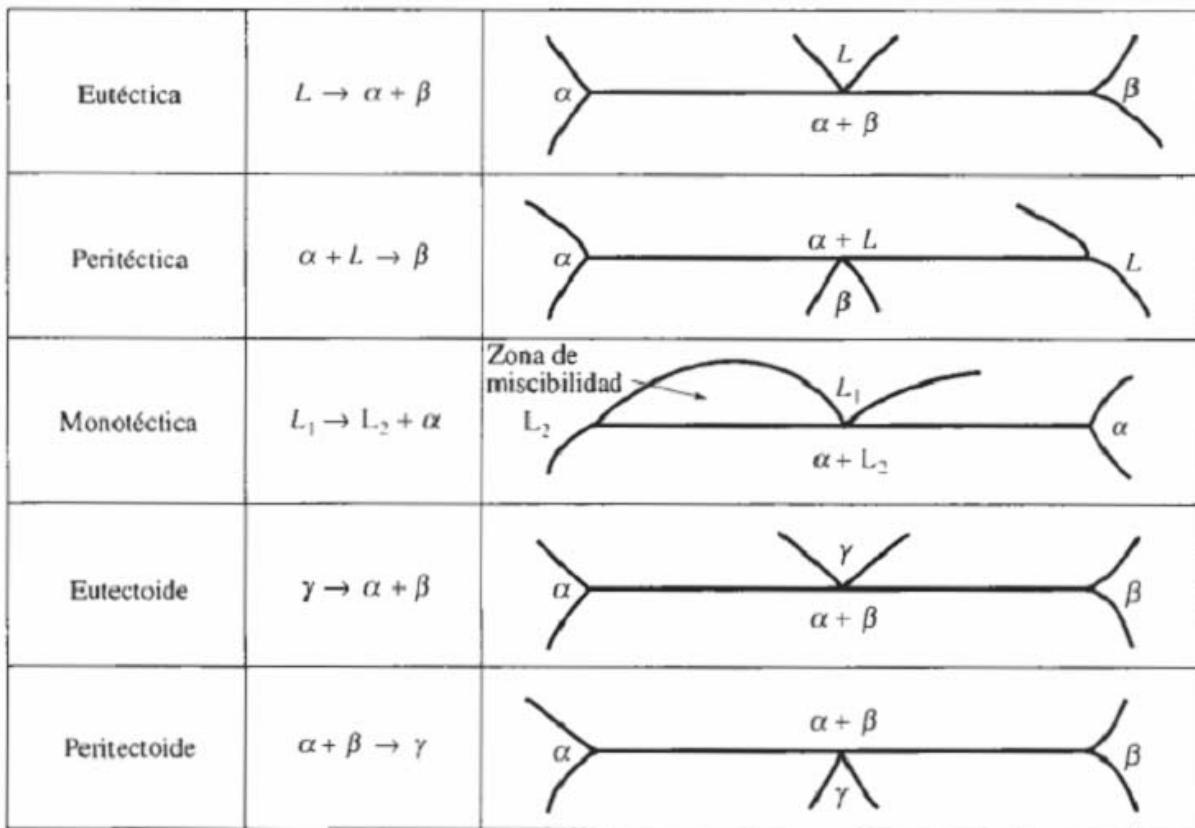


**Figura 76** Diagrama de fases eutéctico plomo-estaño. Se presenta solución sólida limitada de  $\alpha + \beta$

### 1.6.5. Formación de compuestos



**Figura 77** Izq. Formación del compuesto intermetálico estequiométrico AlSb. Der. Formación del compuesto intermetálico no-estequiométrico  $\gamma$



**Figura 78** Las cinco reacciones más importantes de tres fases en los diagramas de fases binarios (Askeland, 1998)

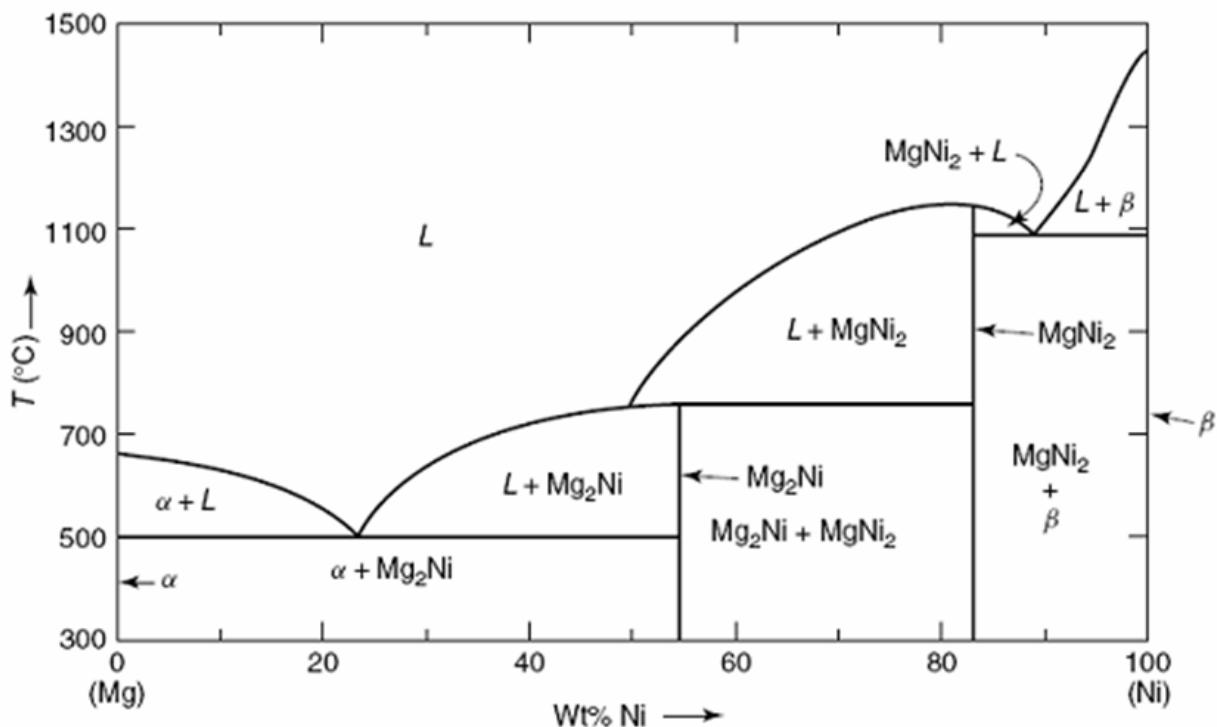


Figura 79 Formación de compuestos en el diagrama binario Mg – Ni (Mitchell, 2004)

### 1.6.6. Solidificación y formación de compuestos en diagramas de fases binarios

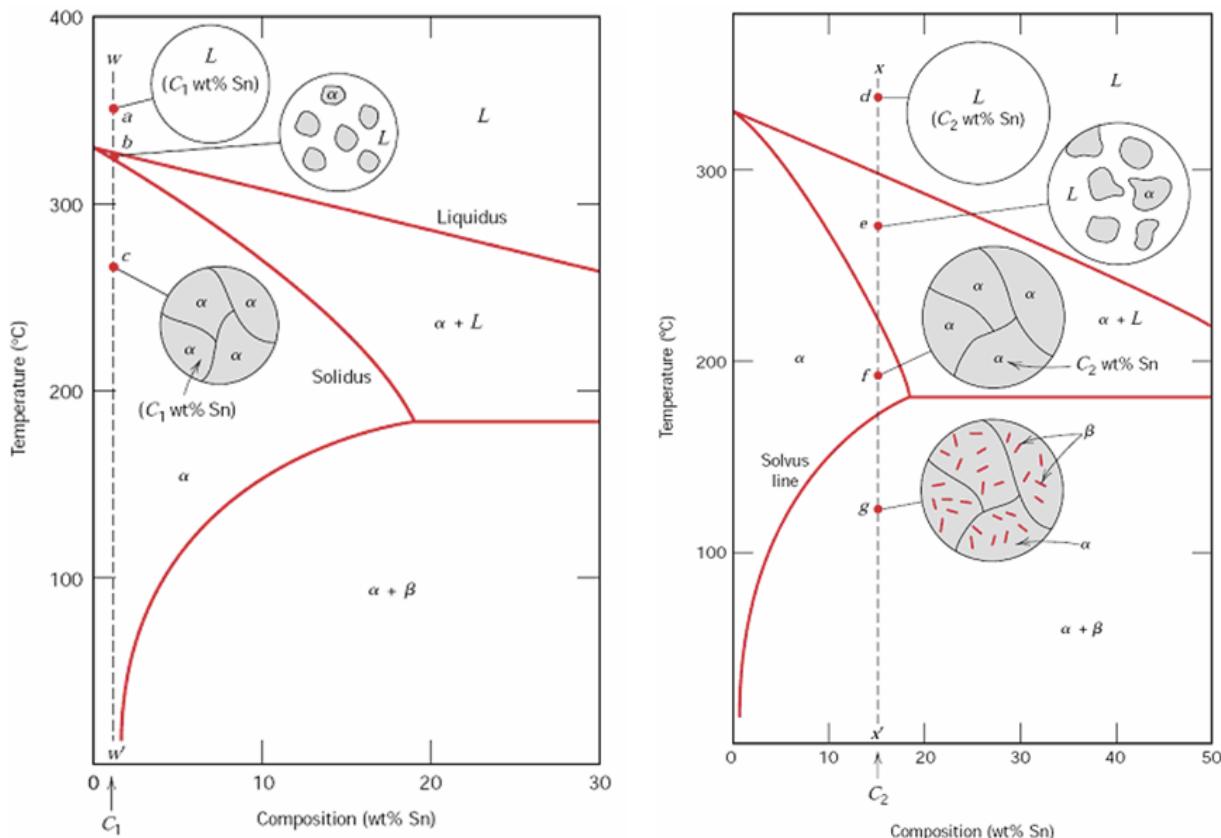
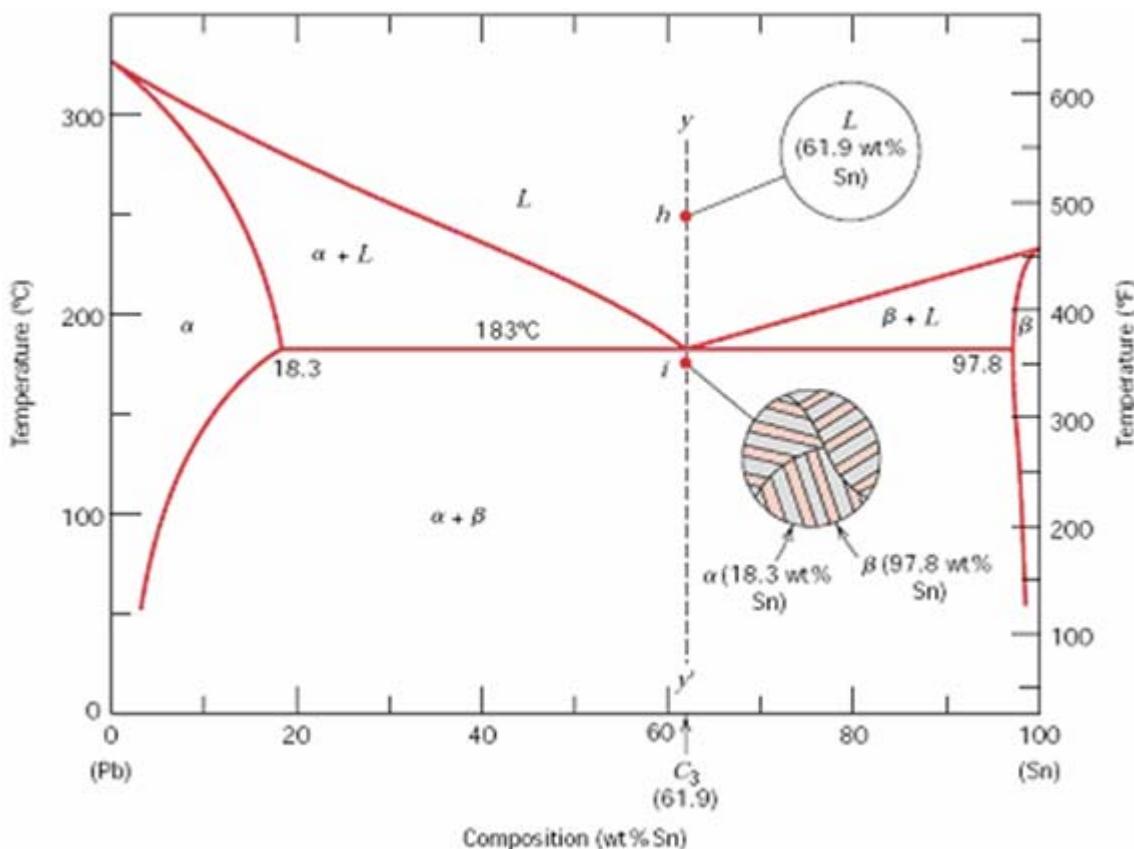
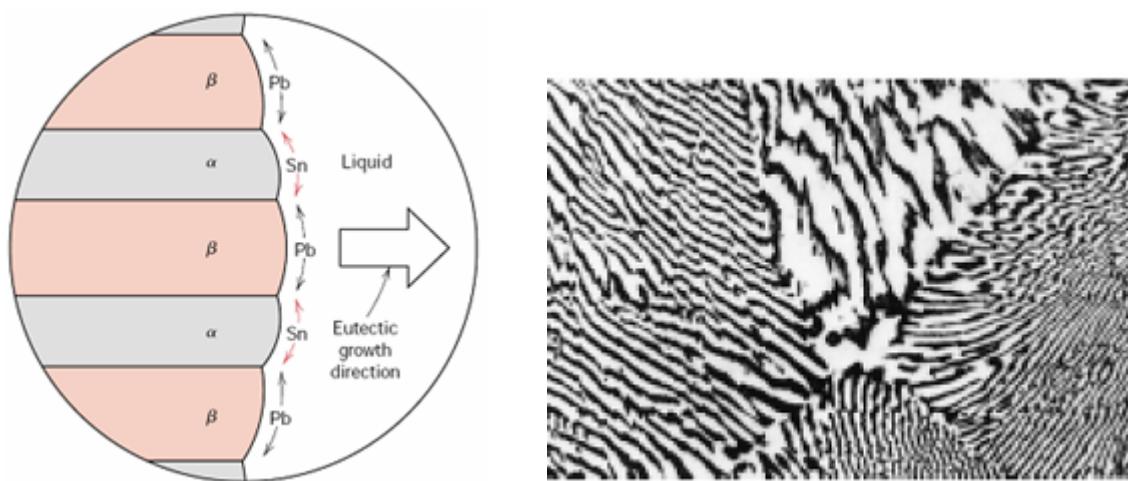


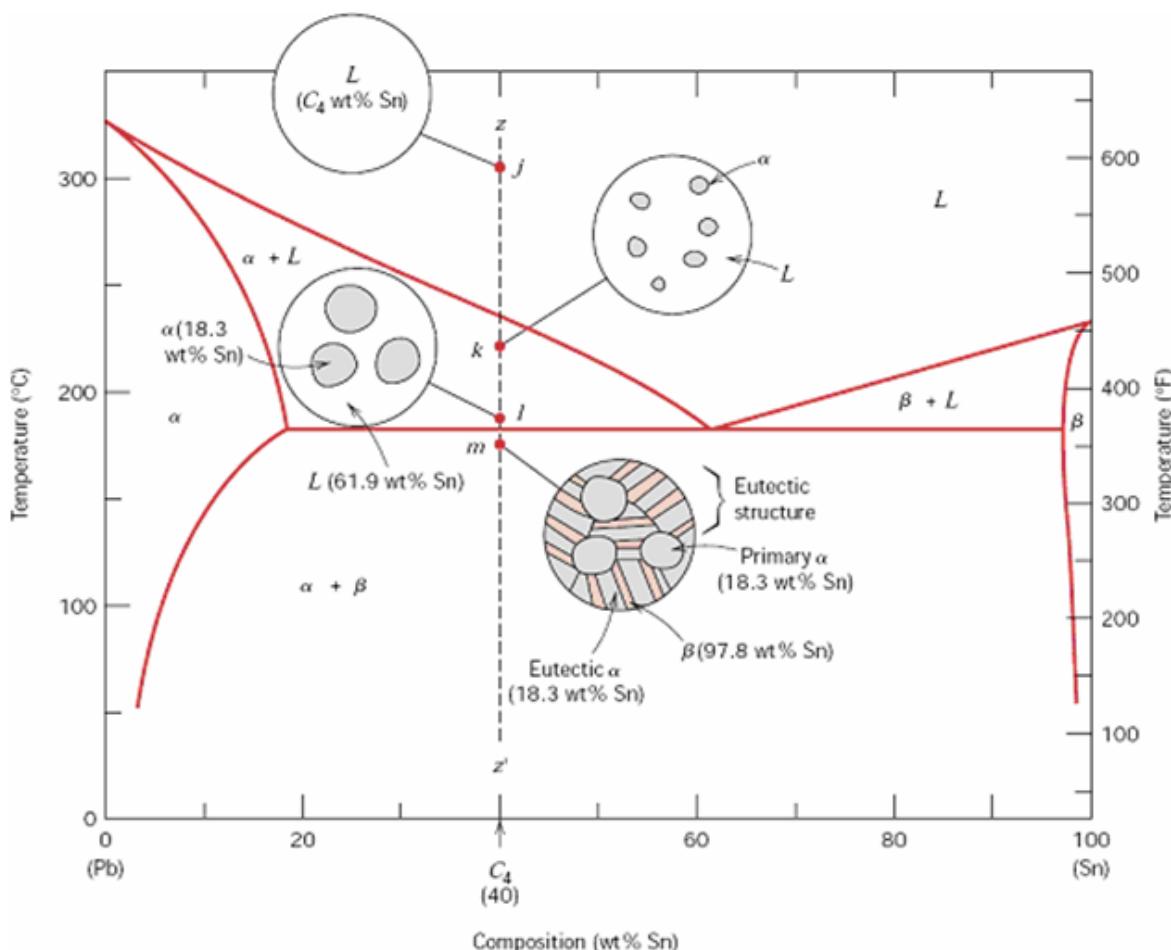
Figura 80 Microestructuras en el equilibrio para una aleación cuando es enfriada desde la región de fase líquida izq. a una composición C1; Der. a una composición C2



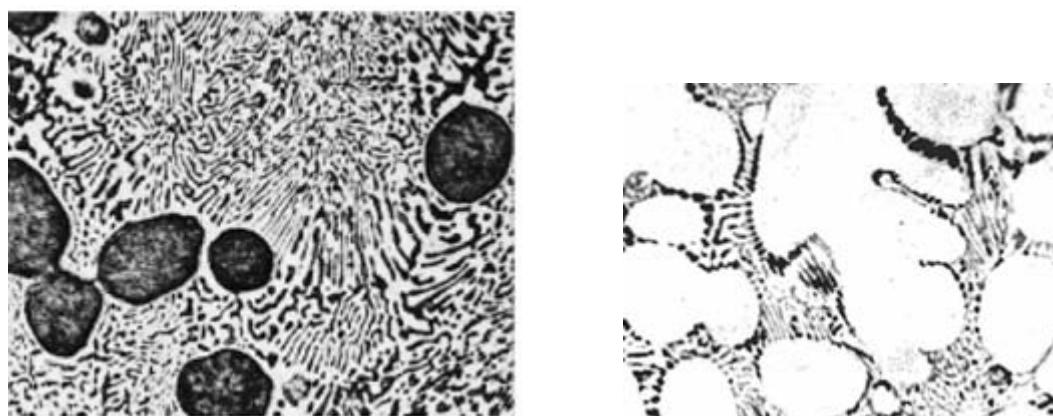
**Figura 81** Microestructuras en el equilibrio para una aleación Pb-Sn decomposición eutéctica C3 sobre (proeutéctico) y debajo de la temperatura eutéctica



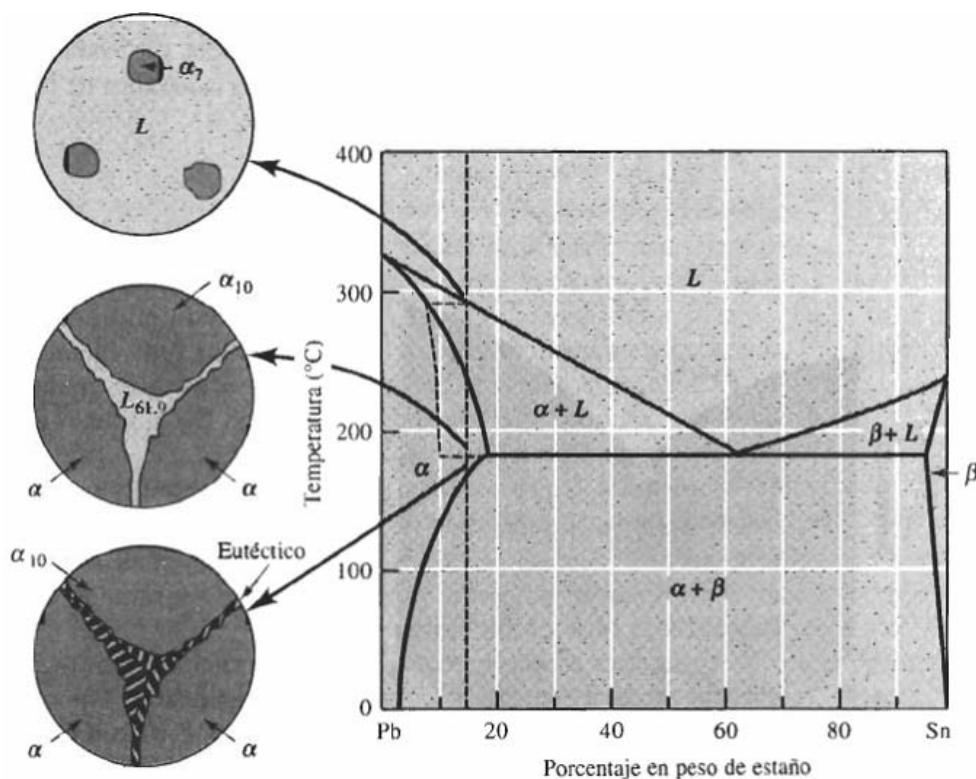
**Figura 82** Fotomicrografía que muestra la estructura de la aleación Pb-Sn de composición eutéctica. Esta microestructura consiste en capas alternas de una fase  $\alpha$  de solución sólida rica en Pb (Capas Oscuras) y una fase  $\beta$  de solución sólida rica en Sn



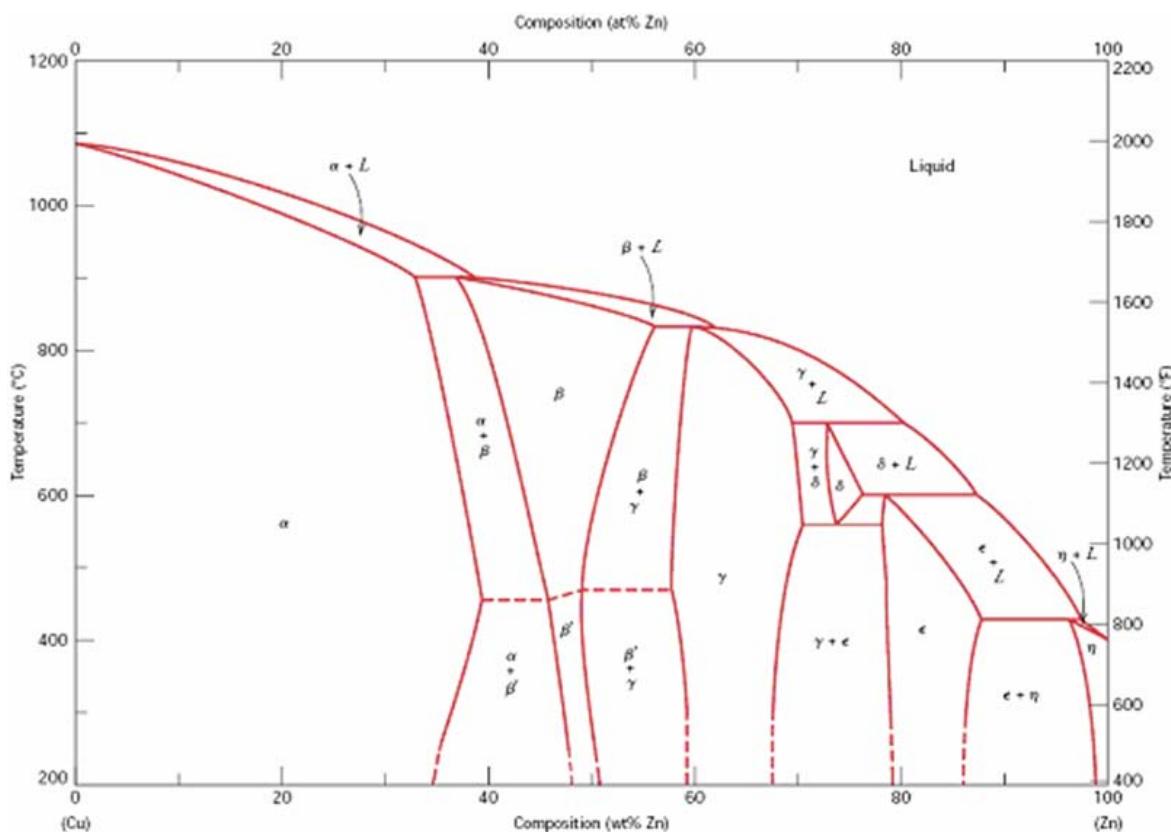
**Figura 83** Microestructuras en el equilibrio para una aleación cuando es enfriada desde la región de fase líquida a una composición C4



**Figura 84** Izq. Fotomicrografía que muestra la microestructura de una aleación Plomo-Estaño con una composición de 50% Sn y 50% Pb (aleación hipo-eutéctica). Está compuesta por una fase α primaria (regiones grandes y oscuras) dentro de una estructura lamelar eutéctica. 400x. Der. Aleación Pb – Sn de composición hipereutéctica, está compuesta por una fase β primaria dentro de una estructura lamelar eutéctica.



**Figura 85** Solidificación y microestructura de una aleación Pb - 15% Sn fuera del equilibrio. Debido a la rápida solidificación se puede formar un microconstituyente eutéctico fuera del equilibrio



**Figura 86** Diagrama de fases Cu - Zn. Se muestran las soluciones sólidas y compuestos intermedios

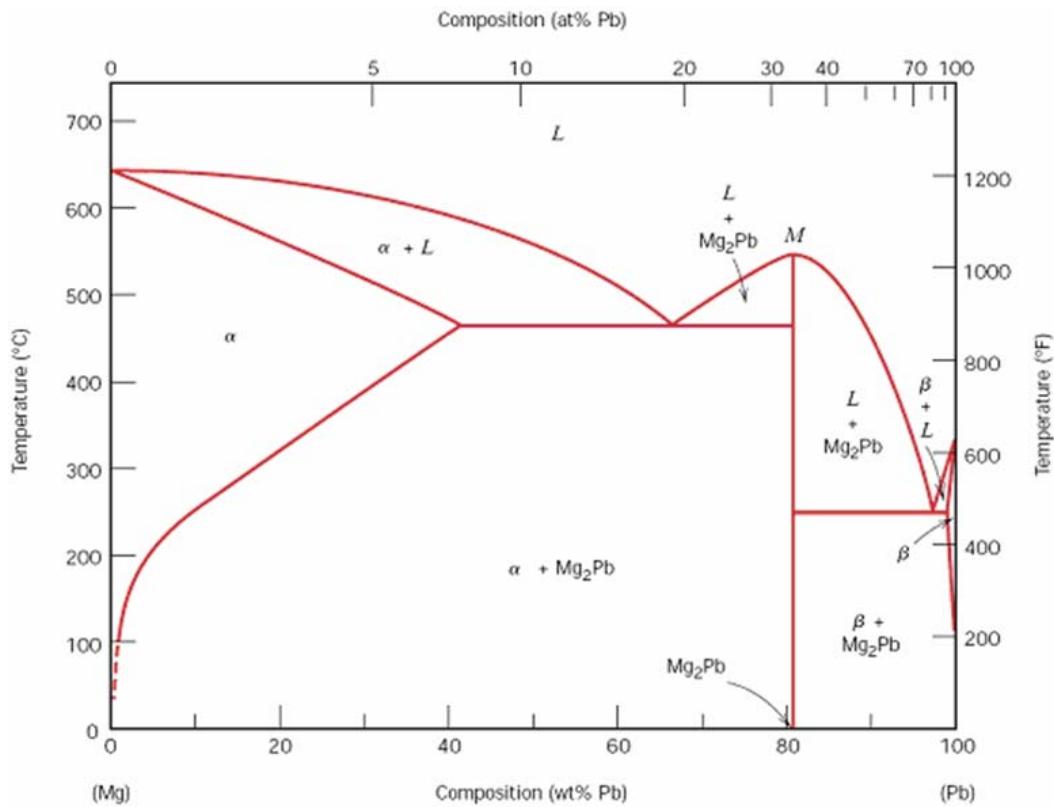


Figura 87 Diagrama de fases Mg - Pb

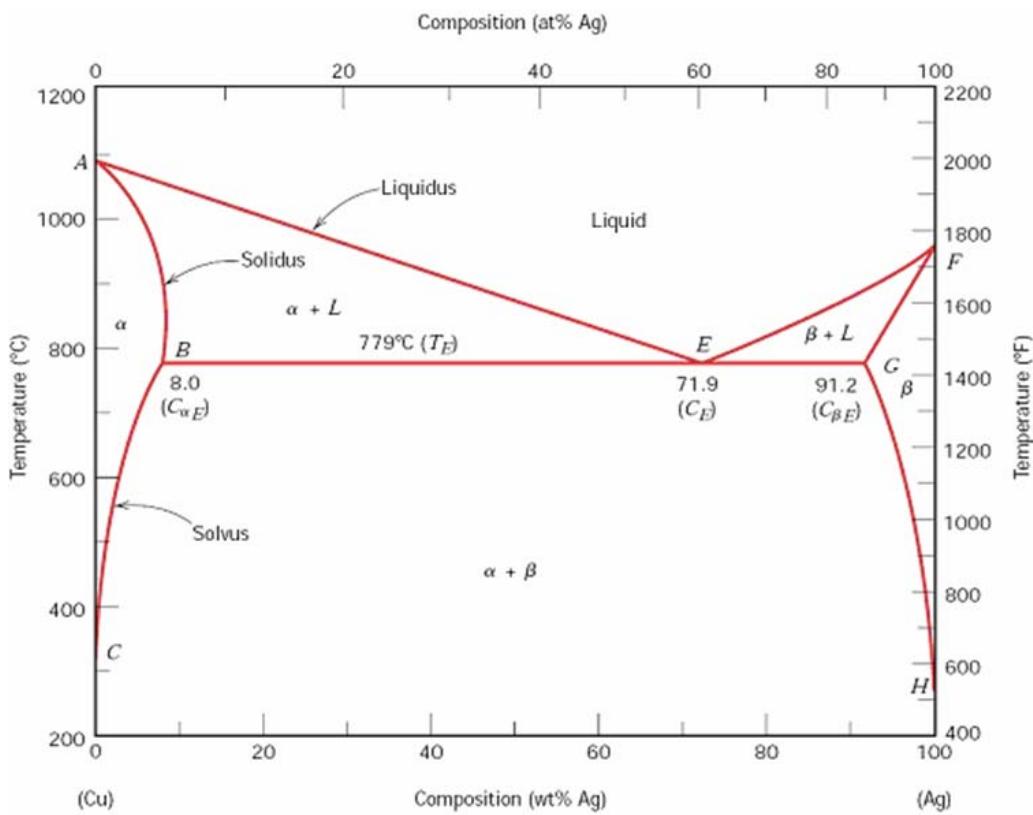
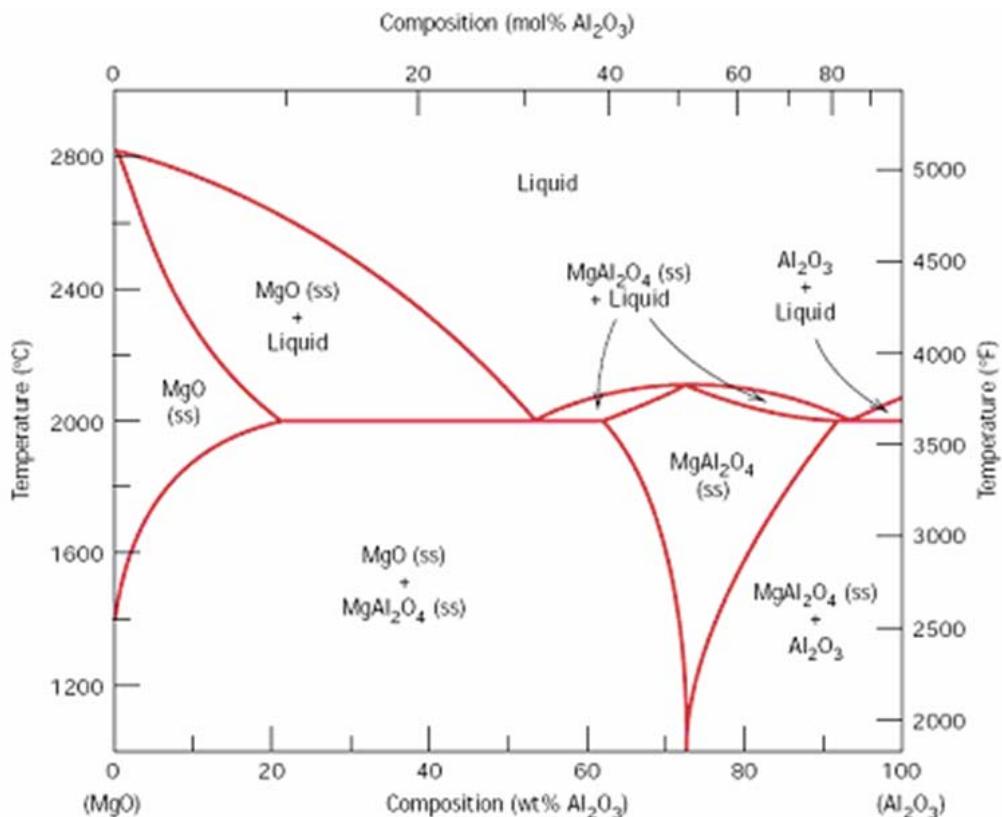
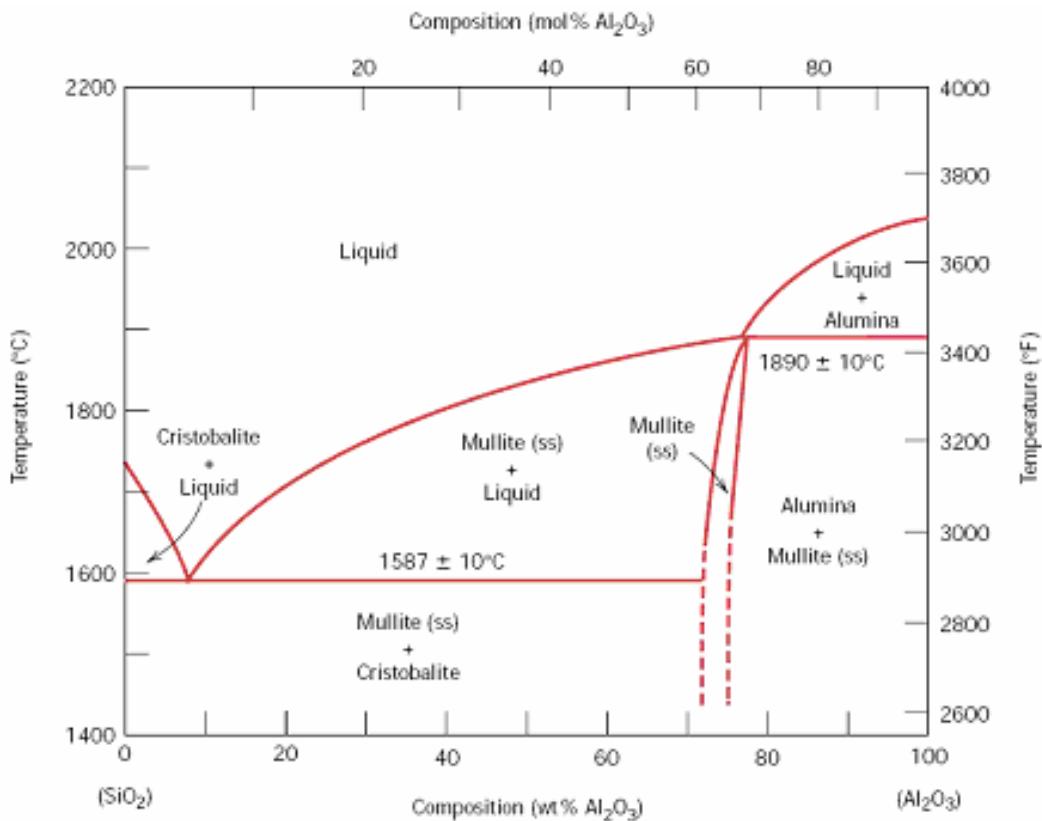


Figura 88 Diagrama de fases Cu - Ag

Figura 89 Diagrama de fases MgO – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>Figura 90 Diagrama de fases Sílice – Alúmina. Su aplicación principal es en la producción de refractarios de SiO<sub>2</sub> y SiO<sub>2</sub> – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (25 – 45 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

## Diagramas Ternarios:

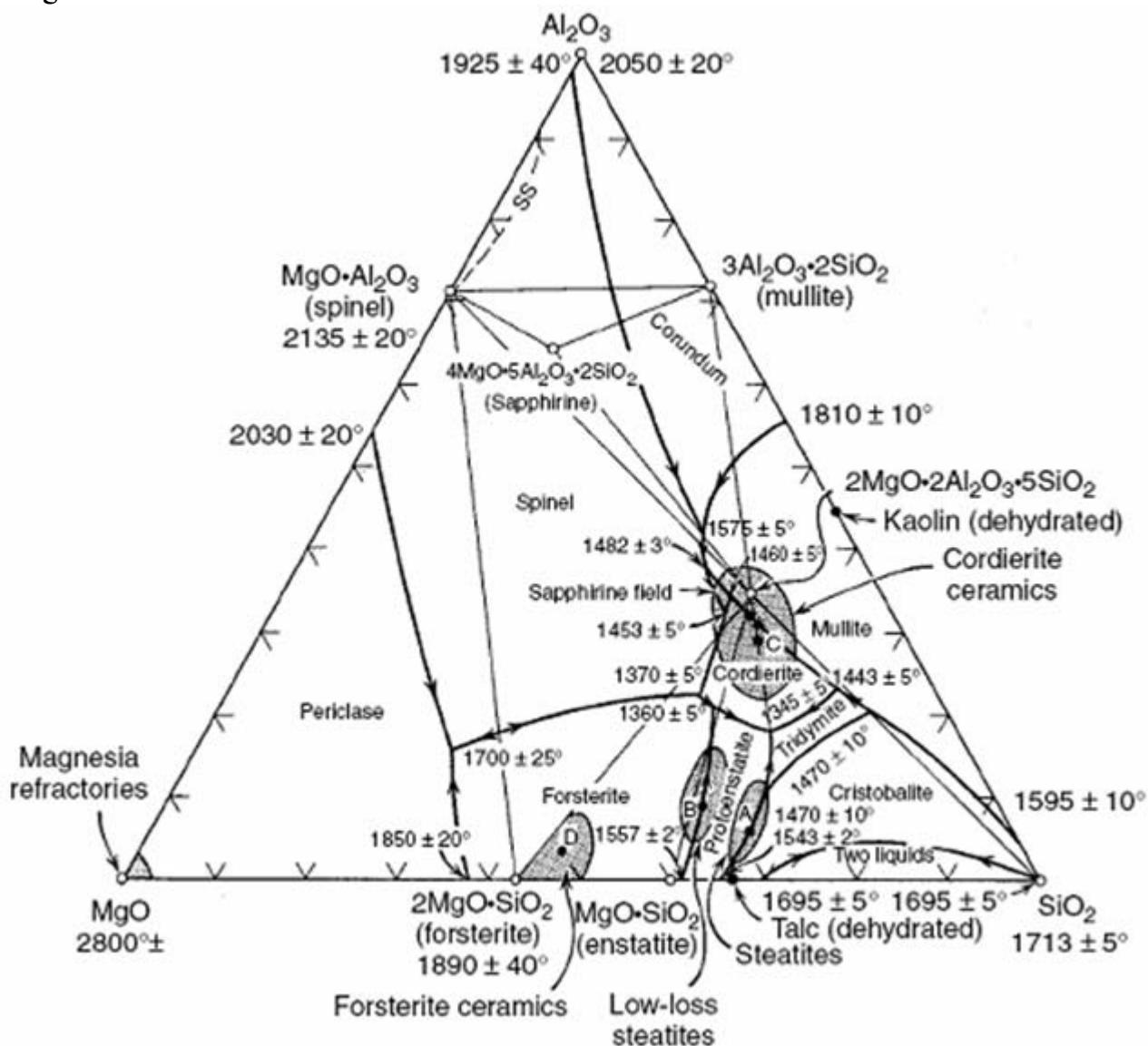


Figura 91 Diagrama de fases  $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$  su principal aplicación es en la obtención de refractarios cerámicos

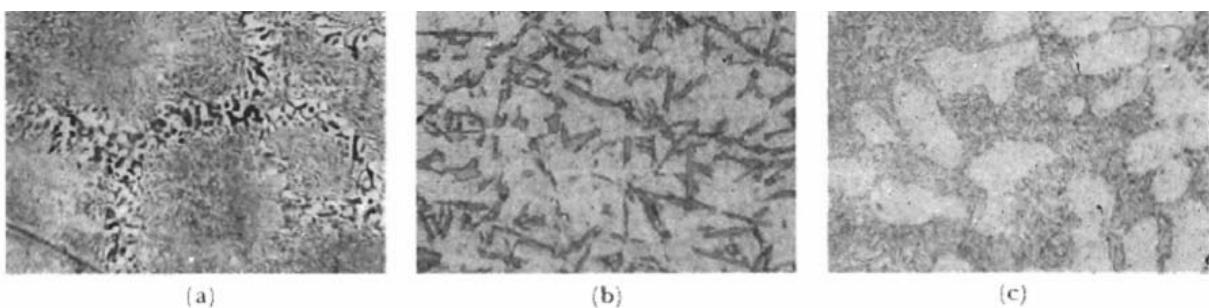


Figura 92 Microestructuras eutécticas típicas: (a) granos eutécticos en la aleación eutéctica plomo-estaño ( $\times 300$ ), (b) placas de silicio en forma de aguja en el eutéctico aluminio-silicio ( $\times 100$ ) y (c) barra redondeada de silicio en el eutéctico de aluminio-silicio modificado ( $\times 100$ ). Las plaquetas de silicio frágiles concentran esfuerzos reduciendo la ductilidad y la tenacidad. Se modifica enfriando rápidamente o para velocidades de solidificación bajas con 0,02% de Na

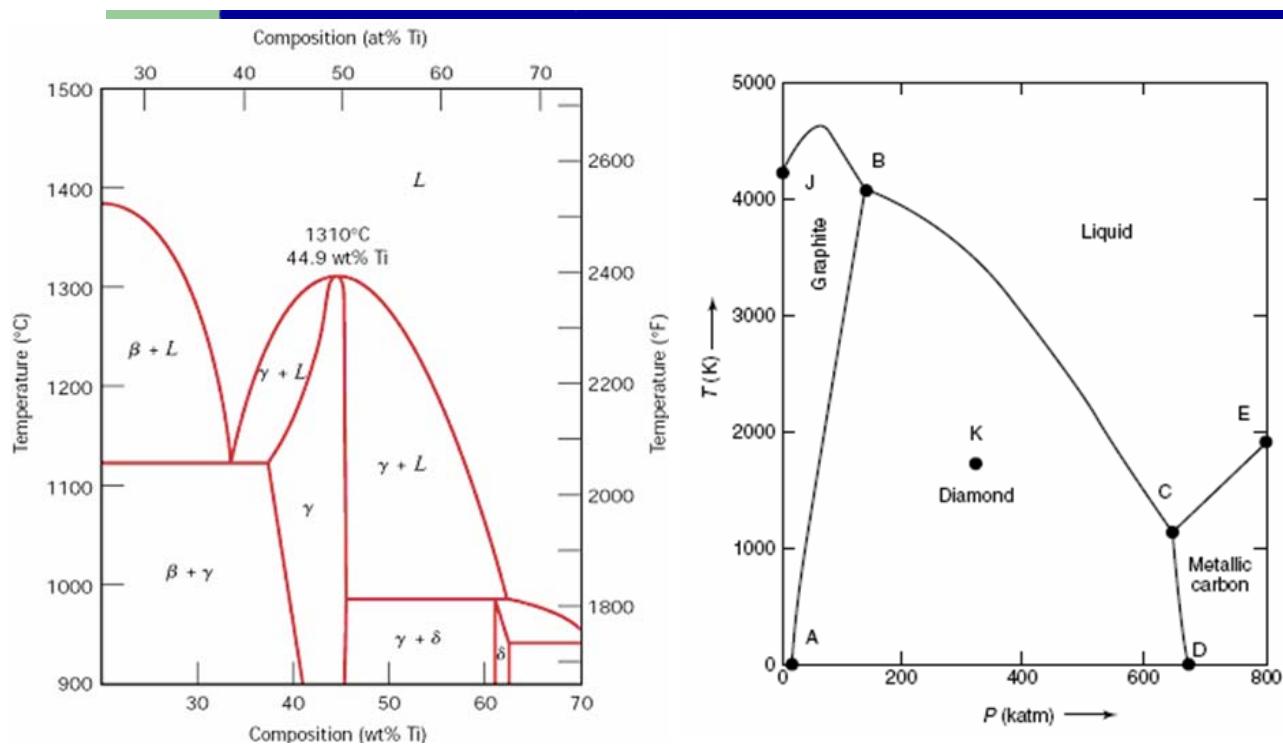


Figura 93 Materiales especiales: izq. Diagrama de fases de la aleación Ti – Ni. Der. Diagrama de fases del carbono

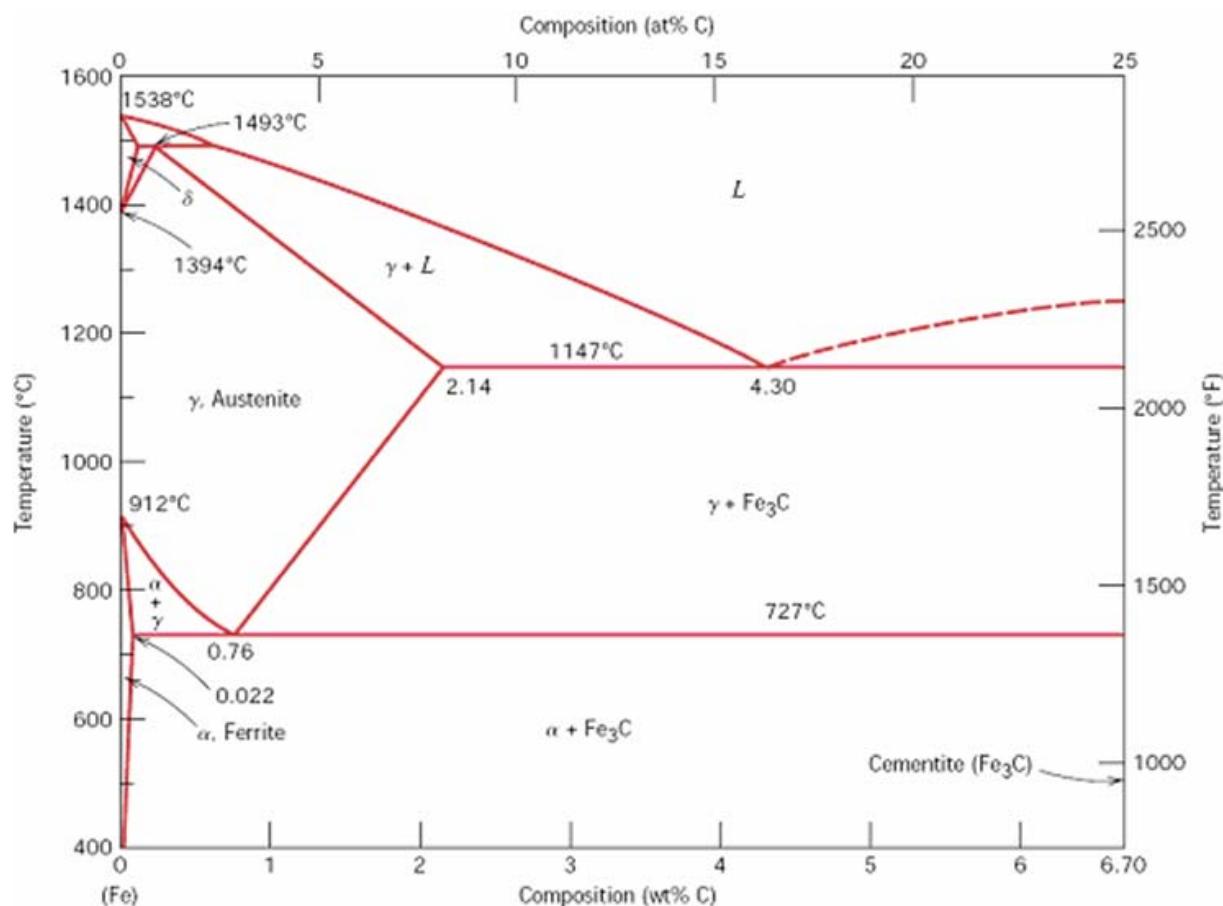


Figura 94 Diagrama hierro – carburo de hierro (cementita)