Diagramas de Fase Combinatorios

Tecnología de Materiales

Ing. Darío Guamán

Ingeniería Industrial - UNACH

Mayo 2025

Contenido

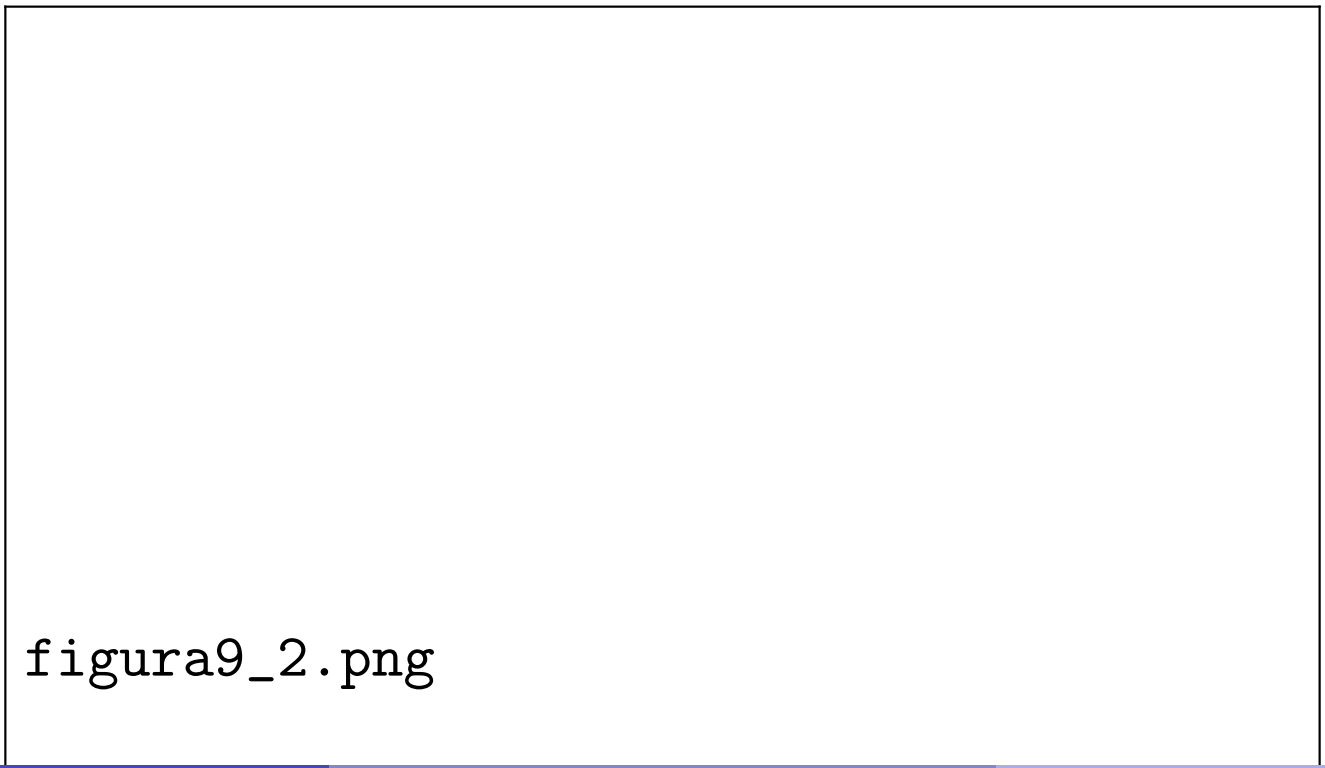
1. Diagrama Presión-Temperatura
2. Curvas de Enfriamiento y Solidificación
3. Sistemas de Aleaciones Binarias
4. Regla de la Palanca
5. Sistemas Eutécticos
6. Otras Reacciones Importantes

Diagrama Presión-Temperatura (P–T)

- Representa las fases de una sustancia pura: sólido, líquido y vapor.
- Ejes:
  - Presión (ordenada)
  - Temperatura (abscisa)
- Tres regiones principales:
  - Sólido (baja T, alta P)
  - Líquido (alta P, T intermedia)
  - Vapor (alta T, baja P)

Líneas de Equilibrio y Puntos Clave

- Líneas de equilibrio:
  - Fusión: sólido $\leftrightarrow$ líquido
  - Vaporización: líquido $\leftrightarrow$ vapor
  - Sublimación: sólido $\leftrightarrow$ vapor
- Punto triple: coexisten sólido, líquido y vapor.
- Punto crítico: fin de la línea de vaporización; más allá, no hay distinción entre fases.



Importancia del Diagrama P–T

- Comprender el comportamiento de materiales bajo distintas condiciones.
- Predecir los cambios de fase en función de la presión y temperatura.
- Aplicado en diseño de:
  - Autoclaves
  - Calderas
  - Procesos de criogenia
- Base para comprender diagramas más complejos (p.ej., fases binarias).

Ejemplo: Agua (H_2O)

- Punto triple: 0.01°C y 0.006 atm.
- Punto crítico: 374°C y 218 atm.
- Curva de fusión con pendiente negativa: al aumentar la presión, el hielo se derrite.

Aplicación: El patinaje sobre hielo es posible porque la presión bajo la cuchilla reduce el punto de fusión del hielo.

Curvas de Enfriamiento: Introducción

- Una curva de enfriamiento representa la temperatura de un material en función del tiempo mientras se enfría.
- Estas curvas son fundamentales para comprender la formación de fases durante la solidificación.
- La pendiente, mesetas y cambios abruptos indican transformaciones de fase.

Ejemplo: En una aleación, las curvas ayudan a identificar cuándo comienza y termina la solidificación.

Solidificación: Equilibrio vs. No Equilibrio

- **Solidificación en equilibrio:**
  - Enfriamiento lento que permite difusión completa.
  - Composición de fases ajustada a la línea de equilibrio (líneas de liquidus y solidus).
  - Microestructura uniforme, sin gradientes internos de composición.
- **Solidificación fuera de equilibrio:**
  - Enfriamiento rápido: difusión insuficiente.
  - Se forman cristales con composición no homogénea (fenómeno de *coring*).
  - Mayor proporción de líquido remanente, desplazamiento de la línea solidus.

Comparación Visual: Equilibrio vs. No Equilibrio

figura9_4.png

Figura 9.4: Solidificación en equilibrio.

Microestructura uniforme con composición estable.

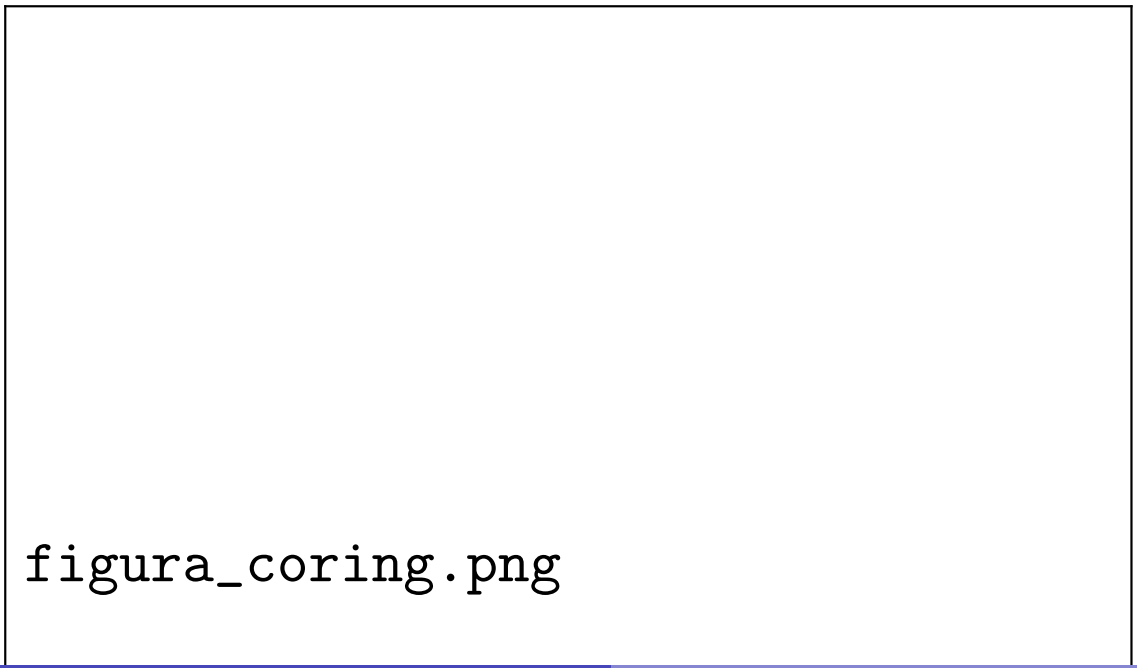
figura9_5.png

Figura 9.5: Solidificación fuera de equilibrio.

Se observa coring y segregación interdendrítica.

Fenómeno de Coring

- Ocurre cuando los cristales crecen desde el líquido sin tiempo suficiente para la difusión.
- Se forman zonas con diferente concentración de soluto desde el centro hacia los bordes del grano.
- Esto genera propiedades mecánicas no óptimas y heterogeneidad química.
- Se corrige mediante un tratamiento térmico de **homogeneización**, que permite la difusión interna.



¿Qué es un Sistema de Aleación Binaria?

- Es una mezcla de dos componentes que pueden formar soluciones sólidas, líquidas o compuestos intermedios.
- Las variables relevantes son:
  - **Temperatura**
  - **Composición** (% en peso o atómico de uno de los componentes)
- Se representan mediante diagramas de fase binarios (2D).

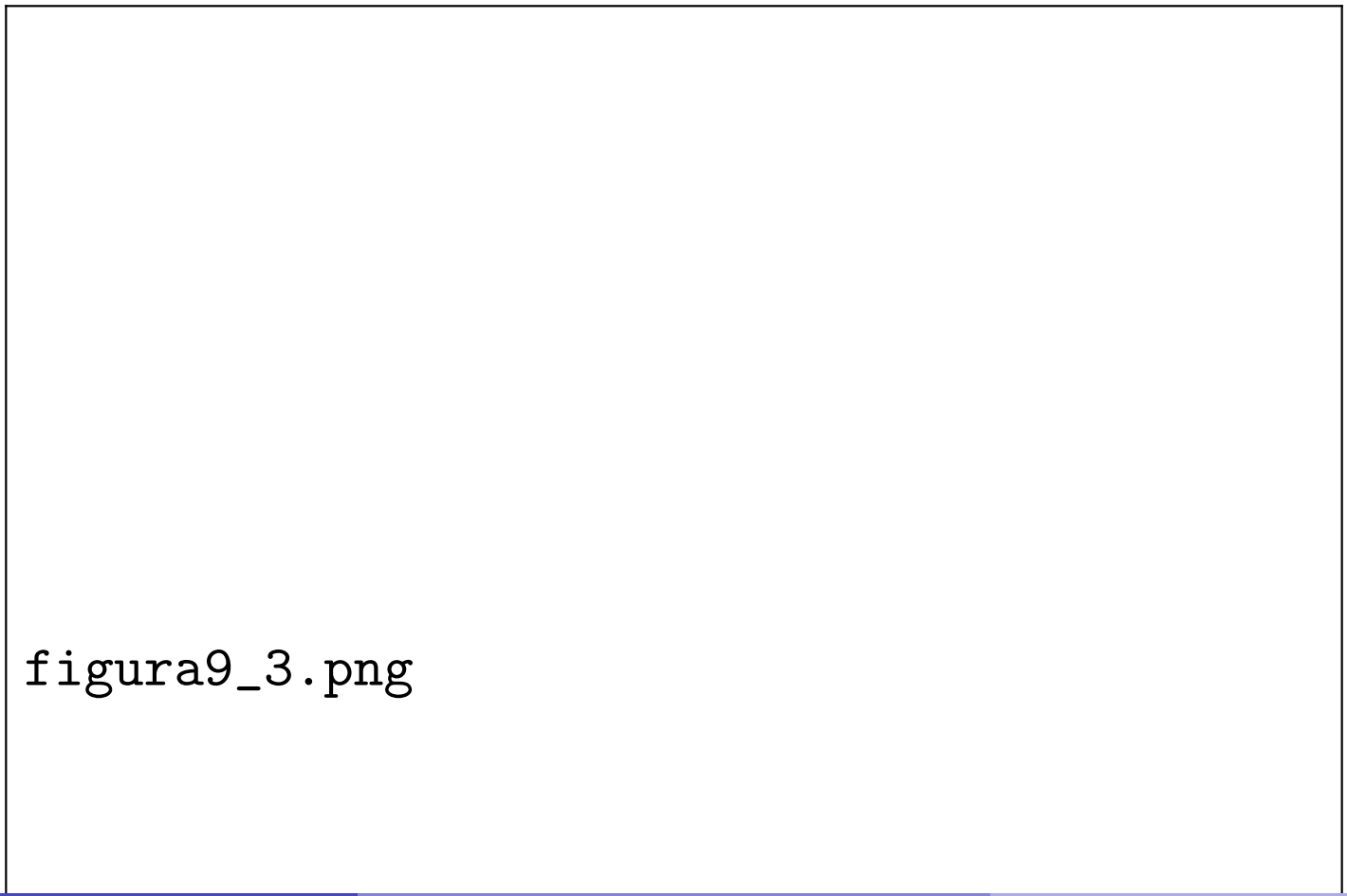
Tipos de Sistemas Binarios

- **Isomorfos:** Solubilidad total en estado sólido (ej: Cu–Ni).
- **Eutécticos:** Mezclas con punto de fusión mínimo (ej: Pb–Sn).
- **Peritécticos:** Fusión inversa donde una fase sólida reacciona con líquido para formar otra sólida (ej: Ag–Pt).
- **Monótonos con compuestos intermedios:** Formación de fases intermetálicas (ej: Mg–Pb con Mg_2Pb).

Importancia: Determinan rutas de enfriamiento, microestructuras y propiedades mecánicas finales.

Diagrama Cu–Ni: Sistema Binario Isomorfo

- Solubilidad total en estado sólido y líquido.
- Forma una solución sólida sustitucional en toda proporción.
- Es uno de los diagramas más sencillos: una sola región de mezcla líquida y una de sólido.



Importancia de los Sistemas Binarios

- Son base para entender aleaciones industriales reales.
- Permiten predecir:
  - Temperatura de inicio y fin de solidificación.
  - Fases presentes a diferentes composiciones y temperaturas.
  - Cantidades relativas de cada fase mediante la **Regla de la Palanca (Lever Rule)**.
- Se utilizan para diseñar procesos de fundición, soldadura y tratamientos térmicos.

Regla de la Palanca

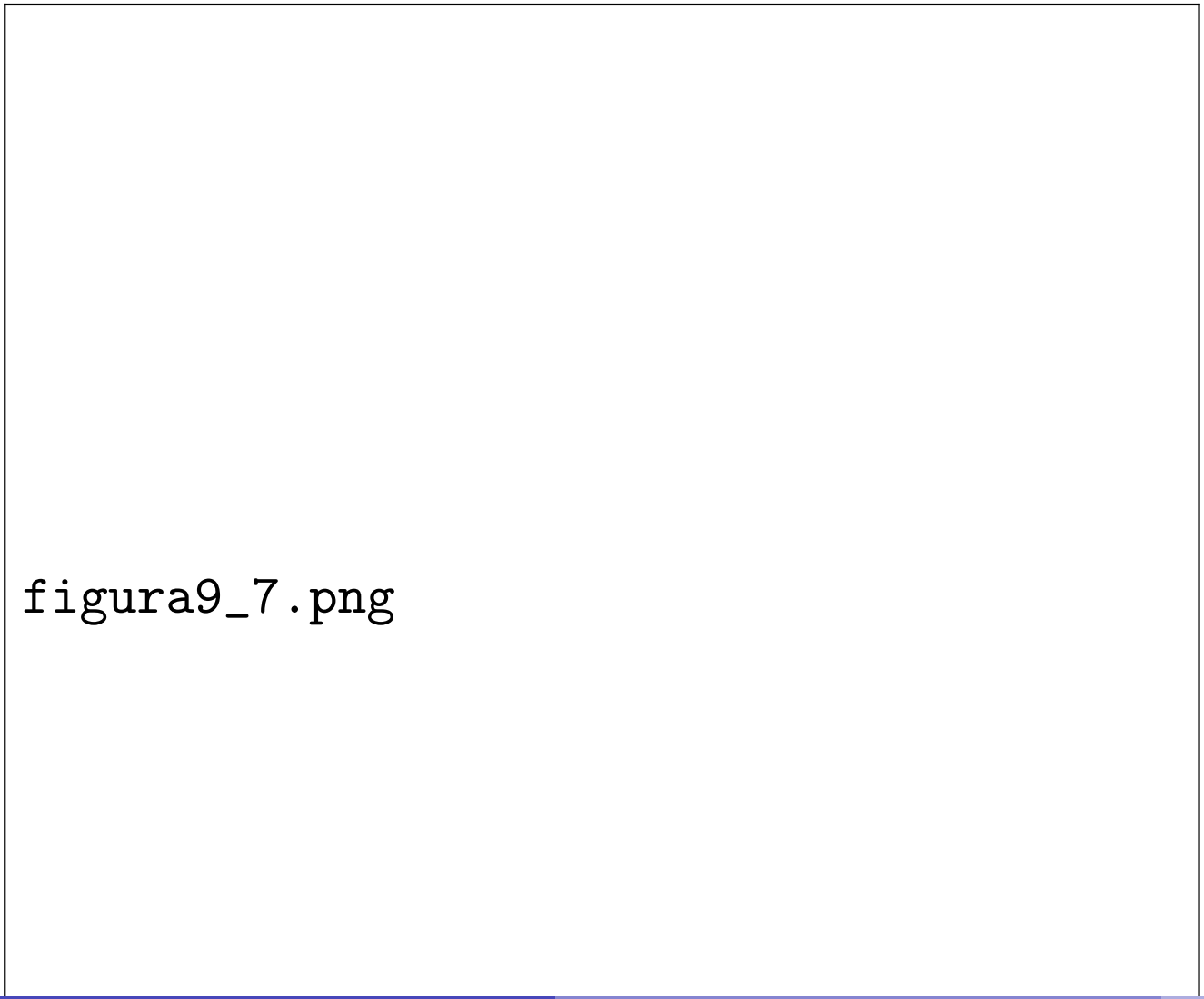
Ecuaciones

$$W_L = \frac{C_\alpha - C_0}{C_\alpha - C_L}, \quad W_\alpha = \frac{C_0 - C_L}{C_\alpha - C_L}$$

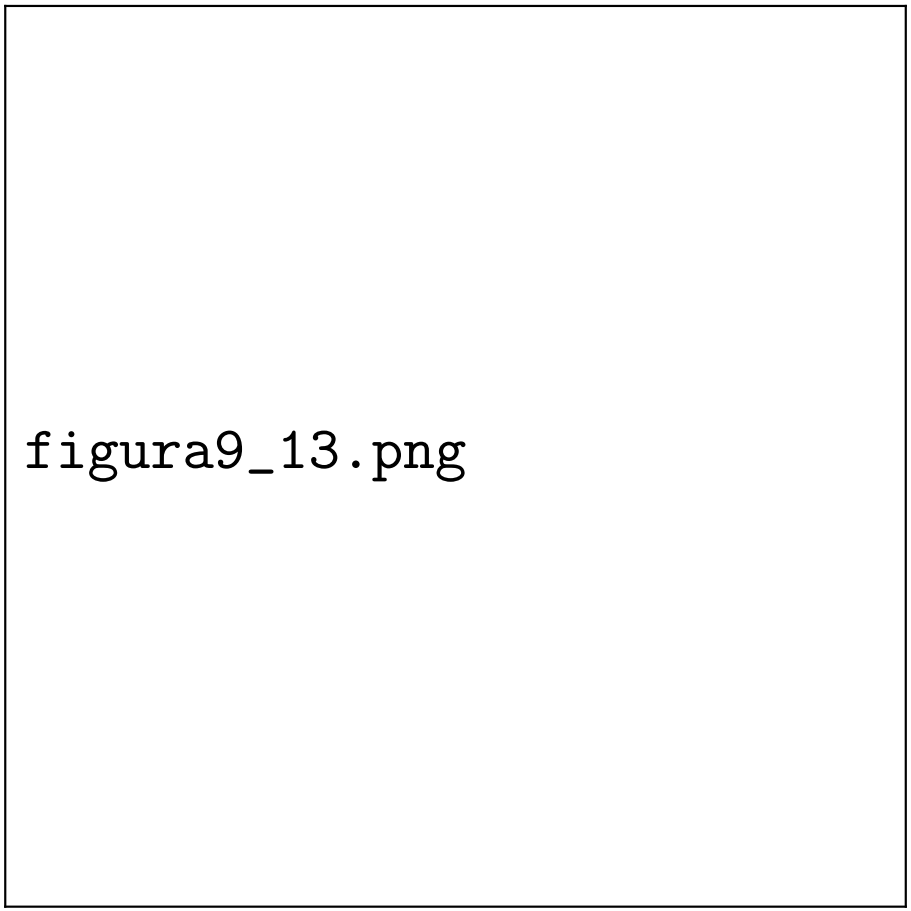
figura9_18.png

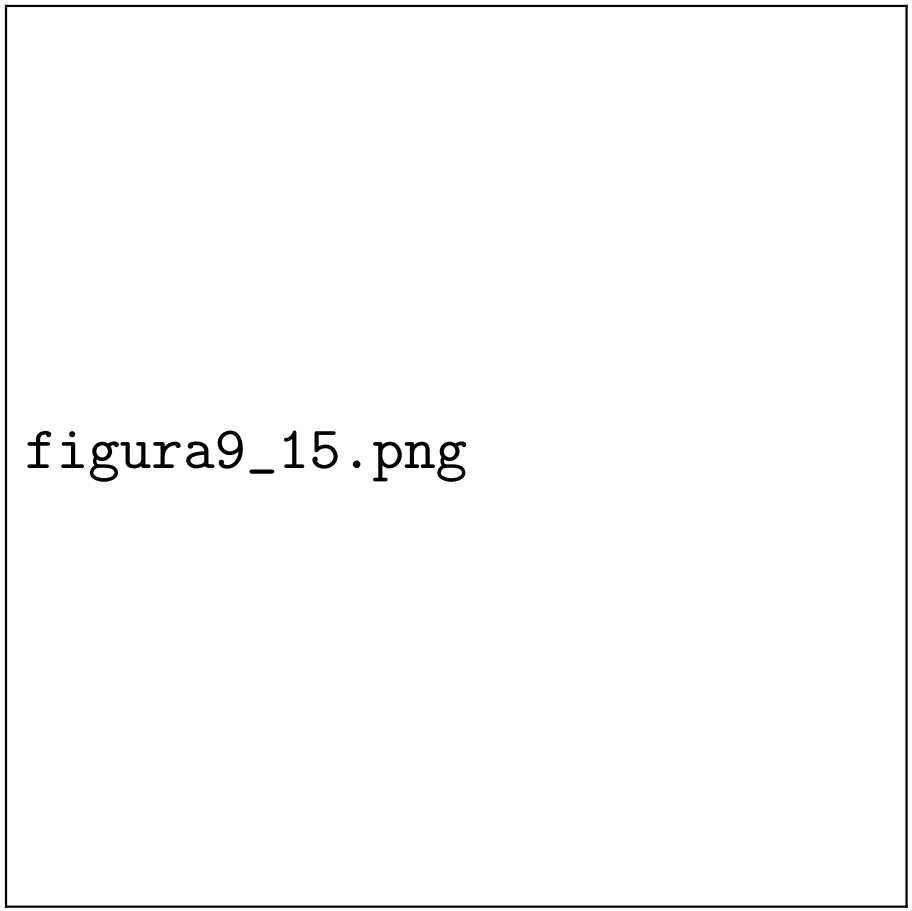
Sistemas Eutécticos

- Reacción: $L \rightarrow \alpha + \beta$
- Ocurre a composición y temperatura fijas.
- Estructura laminar: *eutéctica*.



Microestructura en Enfriamiento Eutéctico

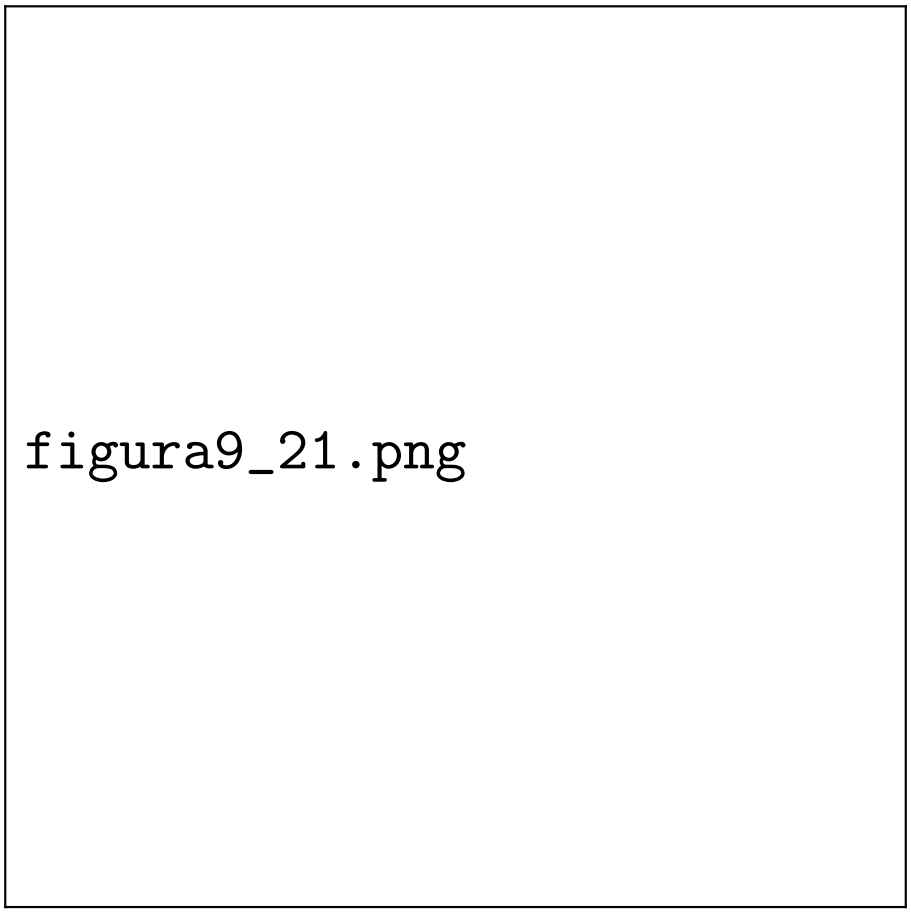


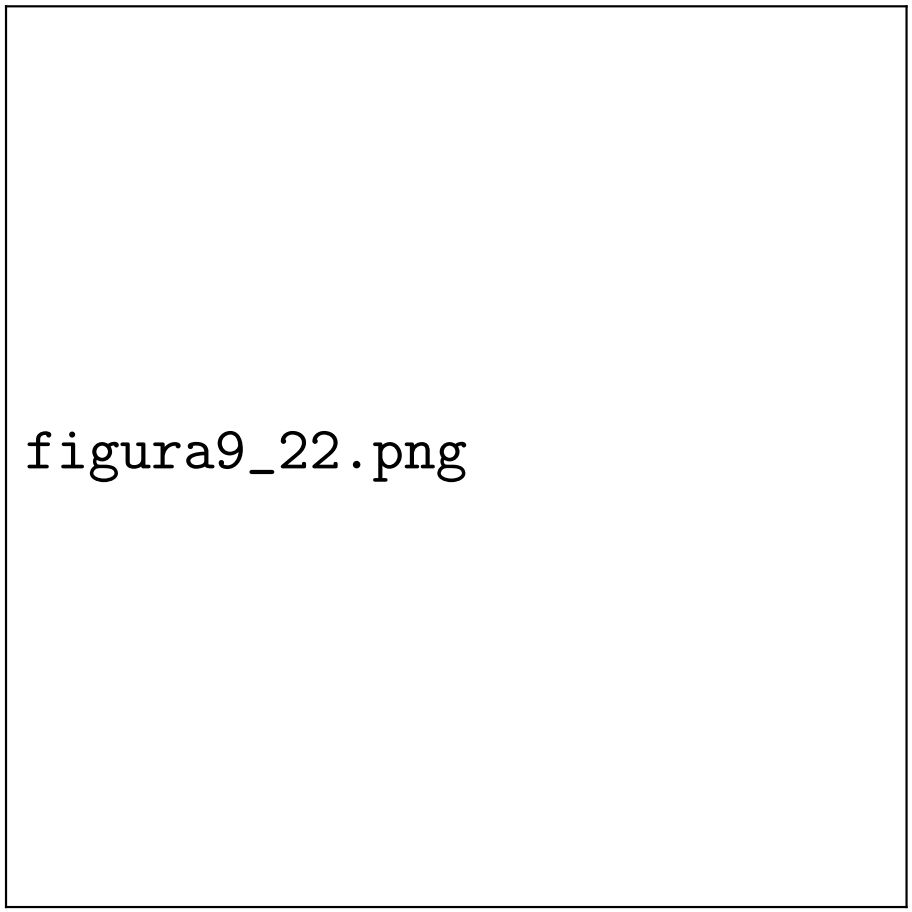


- Capas y se forman simultáneamente.
- Crecimiento dirigido por difusión.

Eutectoide y Peritéctico

- **Eutectoide:** $\delta \rightarrow \gamma + \varepsilon$
- **Peritéctico:** $\delta + L \rightarrow \varepsilon$
- **Congruente:** $\gamma \leftrightarrow L$ (sin cambio composicional)





Resumen Final

- Diagramas de fase ayudan a predecir microestructura.
- Las reacciones invariables son clave: eutéctica, eutectoide, peritéctica.
- La regla de fase de Gibbs permite determinar las condiciones de equilibrio.

"El dominio de los diagramas de fase permite diseñar materiales con propiedades únicas."