

## Unidad 2. ALEACIONES

**ALEACIÓN:** Producto resultante de la unión de 2 o más elementos donde al menos uno tiene carácter metálico.

**OBJETIVO:** Mejorar las propiedades del metal base (Ej. tenacidad, dureza, conductividad etc.)

- **Los elementos a alear deben ser totalmente solubles en estado líquido**
- **El producto resultante debe poseer carácter metálico (enlaces metálicos)**

**DISOLVENTE Y SOLUTO:** Disolvente es el que entra en mayor proporción o el que conserva su estructura cristalina.

$$\left. \begin{aligned}
 C_s &= \frac{m_s}{m_s + m_D} \cdot 100 \\
 C_D &= \frac{m_s}{m_s + m_D} \cdot 100
 \end{aligned} \right\}$$

$C_s$  = concentración de soluto  
 $C_D$  = concentración de disolvente  
 $m_s$  = masa de soluto  
 $m_D$  = masa de disolvente

### TIPOS DE DISOLUCIONES SÓLIDAS:

- a) **Solución por Sustitución:** los átomos tienen estructura similar y se reemplazan átomos del disolvente por los de soluto.
- b) **Solución por Inserción:** los átomos de soluto se colocan en el interior de la red cristalina del disolvente (hay diferencia de tamaño)

**ENERGÍA NECESARIA PARA FUNDIR UN METAL**

Energía para elevar la temperatura hasta la de FUSIÓN + Energía necesaria para el CAMBIO DE ESTADO

$$Q = m \cdot c_e \cdot \Delta t$$

$$Q = m \cdot C_{LF}$$

**Nota:** Ojo con las unidades

**ETAPAS DE SOLIDIFICACIÓN:**

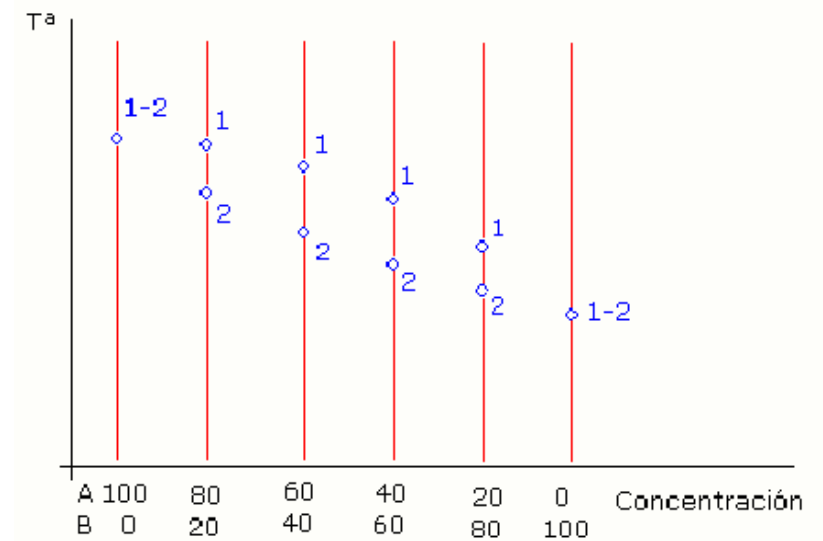
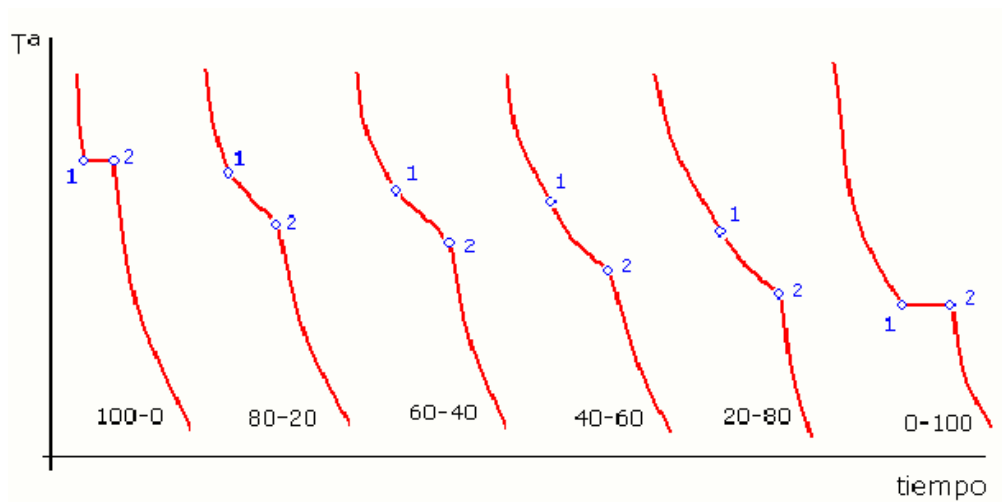
- **Nucleación:** Formación de núcleos estables en la masa fundida
- **Cristalización:** Crecimiento del núcleo en las 3 direcciones espaciales
- **Formación del grano:** Los cristales forman estructuras granulares

Las mejores propiedades mecánicas se obtienen cuando existe un mayor número de núcleos de cristalización que crean granos de tamaño pequeño. Es importante controlar la velocidad de solidificación.

## DIAGRAMAS DE FASES

### 1.- ALEACIONES COMPLETAMENTE SOLUBLES EN ESTADO LÍQUIDO Y SÓLIDO

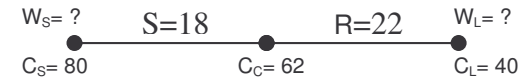
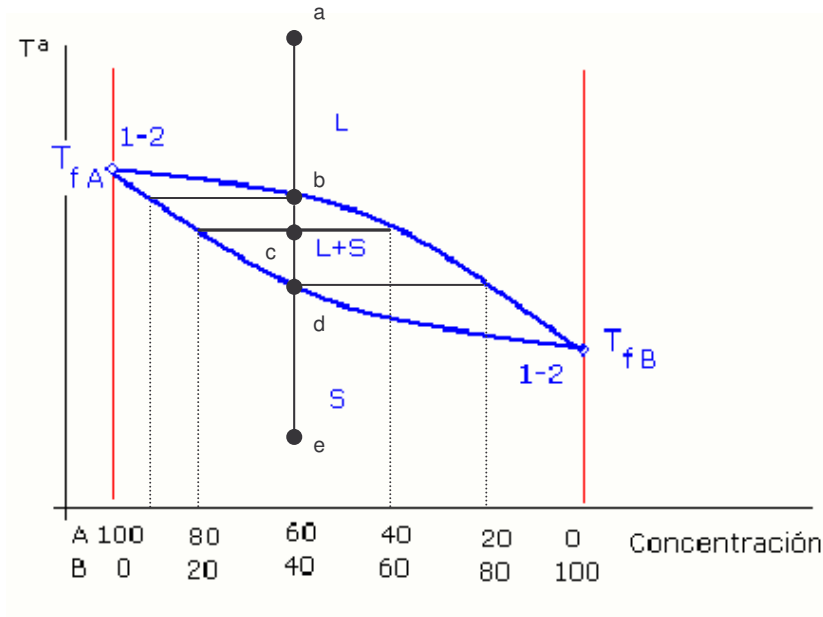
Ej. Cu-Ni



Los puntos 1 indican la formación del primer cristal sólido. La unión de los puntos 1 forma la línea **LIQUIDUS**

Por debajo de los puntos 2 la aleación se encuentra en estado sólido. La unión de los puntos 2 es la línea de **SOLIDUS**

Las curvas 1 y 6 corresponden a los metales puros donde la solidificación se realiza a temperatura constante.



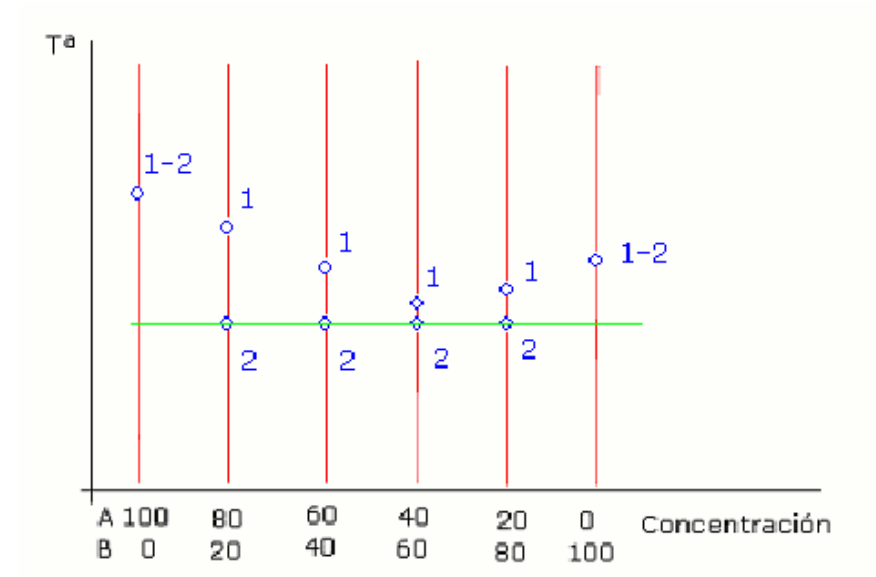
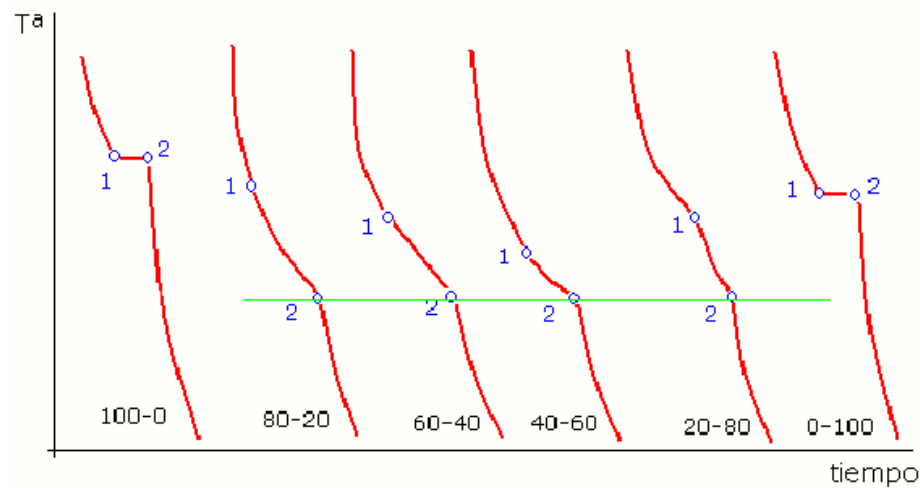
Método 1	Método 2
$W_L = (C_S - C_C) / (C_S - C_L) = 80 - 62 / 80 - 40 = 0.45$ $W_S = (C_C - C_L) / (C_S - C_L) = 62 - 40 / 80 - 40 = 0.55$	$W_L + W_S = 1$ $W_L \cdot R = W_L \cdot S$
	$W_L = 0.45$ $W_S = 0.55$

Tabla: Diagrama de fases

Aleación de Concentración (62% metal A / 38% metal B)							
Tª a	Tª b		Tª c		Tª d		Tª e
fase (líquida)	1 fase (líquida) primer sólido		2 fases (líquida + sólida)		1 fase (líquida) último líquido		1 fase (sólida)
$W_L = 100\%$ $W_S = W_\alpha = 0\%$	<b><math>W_L = 100\%</math> (ojo)</b>		$W_L = 45\%$	$W_S = W_\alpha = 55\%$	<b><math>W_S = W_\alpha = 100\%</math> (ojo)</b>		$W_L = 0\%$ $W_S = W_\alpha = 100\%$
$C_L$ 62% Metal A 38% Metal B	$C_L$ 62% Metal A 38% Metal B	<b><math>C_S = C_\alpha</math> 90% Metal A 10% Metal B</b>	$C_L$ 40% Metal A 60% Metal B	$C_S = C_\alpha$ 80% Metal A 20% Metal B	$C_L$ 20% Metal A 80% Metal B	$C_S = C_\alpha$ 62% Metal A 38% Metal B	$C_S = C_\alpha$ 62% Metal A 38% Metal B

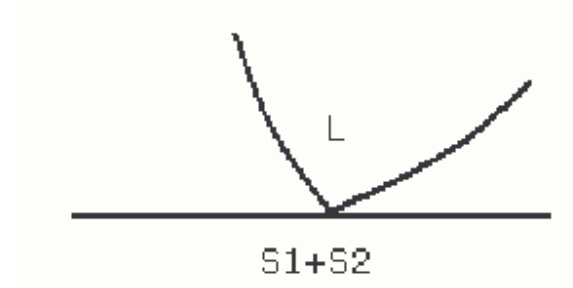
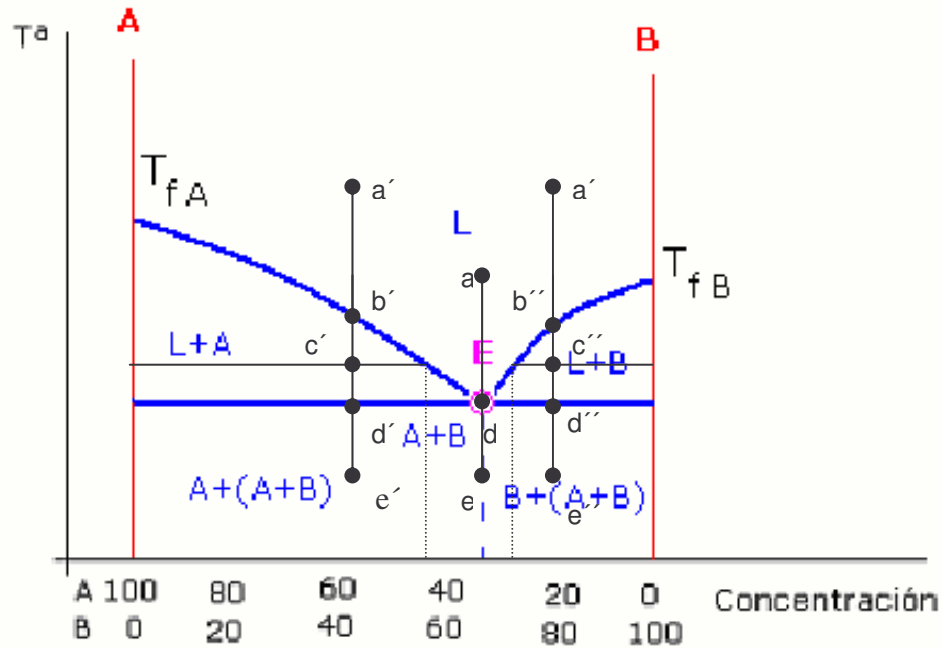
## 2.- ALEACIONES COMPLETAMENTE SOLUBLES EN ESTADO LÍQUIDO E INSOLUBLES EN ESTADO SÓLIDO

Ej. Cu-Ni



Los puntos 1 indican la formación del primer cristal sólido y los puntos 2 la del último. La unión de los puntos 1 forma la línea **LIQUIDUS** y la de los 2 la de **SOLIDUS**. **Es importante destacar que el final de la solidificación se realiza a la misma temperatura (eutéctica)**

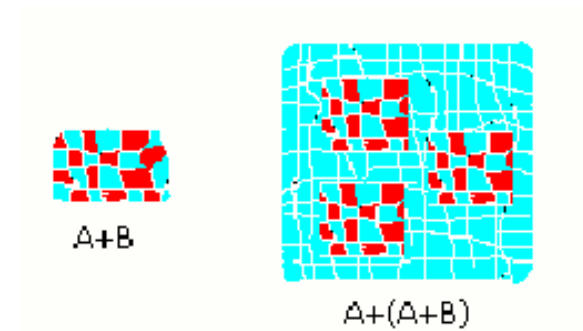
Las gráficas 1 y 6 corresponden a los metales puros donde la solidificación se realiza a temperatura constante. (Temperaturas de fusión)

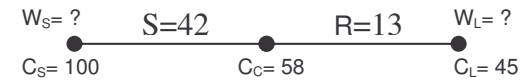
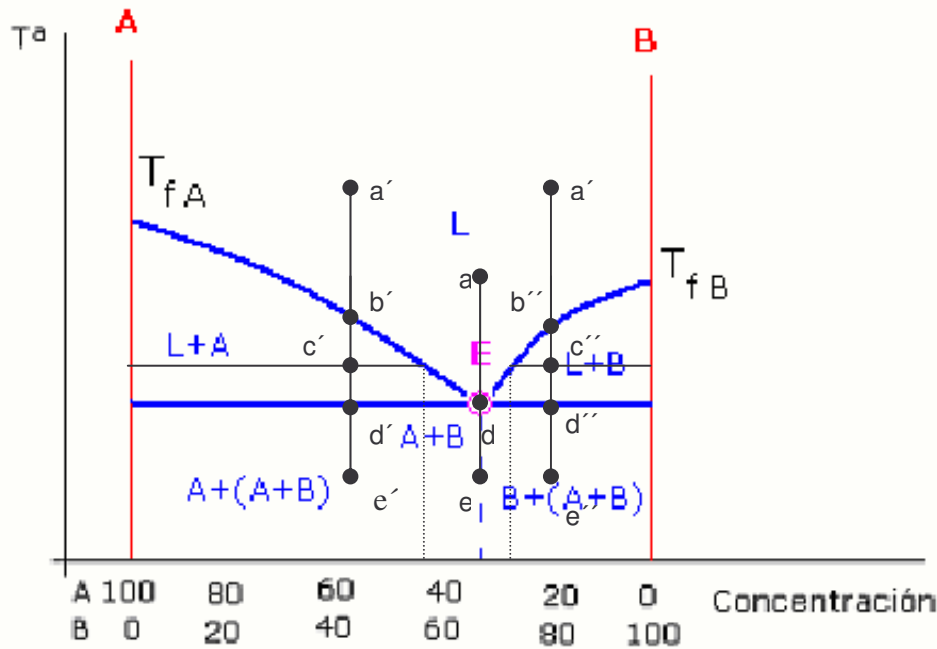


**Punto eutéctico (E):** es el punto correspondiente a la aleación de punto de fusión más bajo. A esta aleación se le da el nombre de eutéctica y la reacción que tiene lugar en ella es la reacción eutéctica. Esta aleación se comporta como un metal puro en cuanto a que funde a temperatura constante

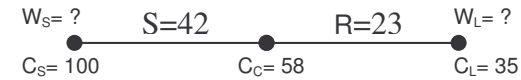
Tabla: Diagrama de fases

Aleación eutéctica (35% metal A / 65% metal B)				
$T^a$ a	$T^a$ d		$T^a$ e	
1 fase (líquida)	Temperatura eutéctica		Las 2 Fases (sólidas) se están formando a $T^a$ cte	
$W_L=100\%$ $W_S=0\%$	$W_{SA}=W_\alpha=35\%$ $W_{SB}=W_\beta=65\%$		$W_{SA}=W_\alpha=35\%$ $W_{SB}=W_\beta=65\%$	
$C_L$ 35% Metal A 65% Metal B	$C_{SA}$ 100% A 0% B	$C_{SB}$ 0% A 100% B	$C_{SA}$ 100% A 0% B	$C_{SB}$ 0% A 100% B





Método 1	Método 2
$W_L = (C_S - C_C) / (C_S - C_L) = 100 - 58 / 100 - 45 = 0.76$ $W_S = (C_C - C_L) / (C_S - C_L) = 58 - 45 / 100 - 45 = 0.24$	$W_L + W_S = 1$ $W_L \cdot R = W_L \cdot S$
	$W_L = 0.76$ $W_S = 0.24$



Método 1	Método 2
$W_L = (C_S - C_C) / (C_S - C_L) = 100 - 58 / 100 - 35 = 0.65$ $W_S = (C_C - C_L) / (C_S - C_L) = 58 - 35 / 100 - 35 = 0.35$	$W_L + W_S = 1$ $W_L \cdot R = W_L \cdot S$
	$W_L = 0.65$ $W_S = 0.35$

Tabla: Diagrama de fases

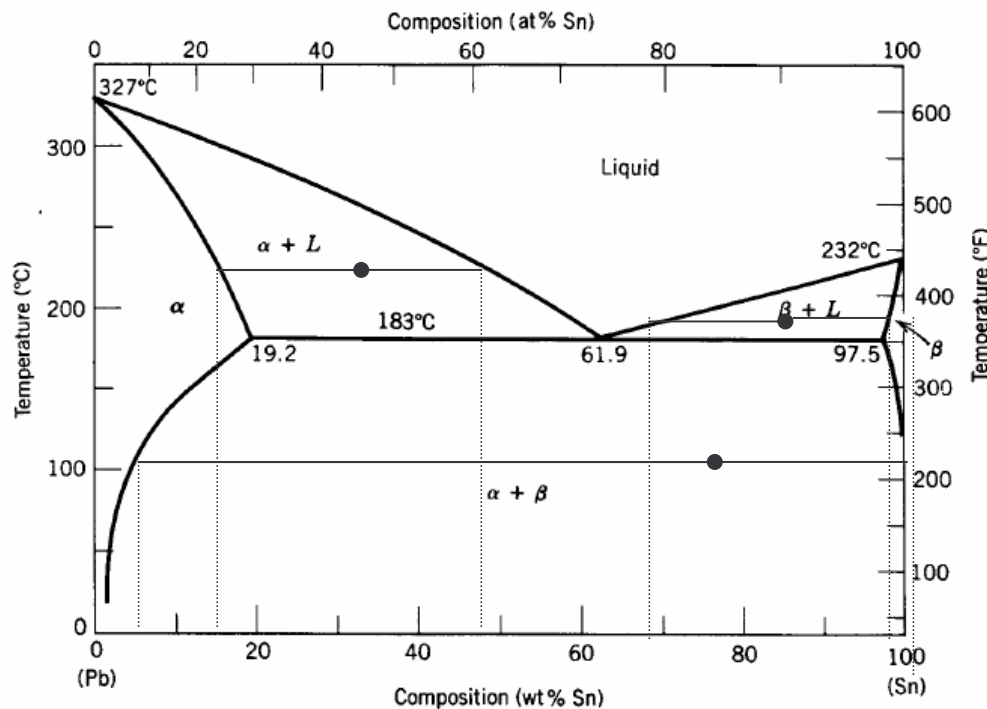
Aleación de Concentración (58% metal A / 42% metal B)							
Tª a'	Tª b'		Tª c'		Tª d'		Tª e'
fase (líquida)	1 fase (líquida) primer sólido		2 fases (líquida + sólida)		2 fase (líquida+sólido) último líquido		2 fase (sólida)
W <sub>L</sub> =100% W <sub>S</sub> =W <sub>α</sub> =0%	W <sub>L</sub> =100% (ojo)		W <sub>L</sub> =76%	W <sub>S</sub> =W <sub>α</sub> =24%	W <sub>L</sub> =65%	W <sub>SA</sub> =W <sub>α</sub> <b>35%(ojo)</b>	W <sub>SA</sub> =W <sub>α</sub> <b>58%(ojo)</b>
C <sub>L</sub> 58% Metal A 42% Metal B	C <sub>L</sub> 58% Metal A 42% Metal B	C <sub>SA</sub> =C <sub>α</sub> 100% Metal A 0% Metal B	C <sub>L</sub> 40% Metal A 60% Metal B	C <sub>S</sub> =C <sub>α</sub> 100% Metal A Primarios de A	C <sub>L</sub> 35% Metal A 65% Metal B	C <sub>S</sub> =C <sub>α</sub> 100% Metal A Primarios de A	C <sub>SA</sub> 100% Metal A 23% Sec. A 35% Pri. A
							C <sub>SB</sub> 100% Metal B

### 3.- OTROS DIAGRAMAS

Ejemplo- Diagrama Sn-Pb (soldadura).

Este diagrama presenta solubilidad parcial en el estado sólido. De esta forma podemos hablar de:

- Una fase sólida  $\alpha$  (que puede llevar un porcentaje variable de estaño disuelto en plomo)
- Una fase sólida  $\beta$  (de plomo disuelto en estaño; sólo a alta temperatura)
- En las zonas donde **tenemos 2 fases** se procede a aplicar la regla de la palanca para determinar la fracción relativa de cada fase (**no confundir con la composición**)



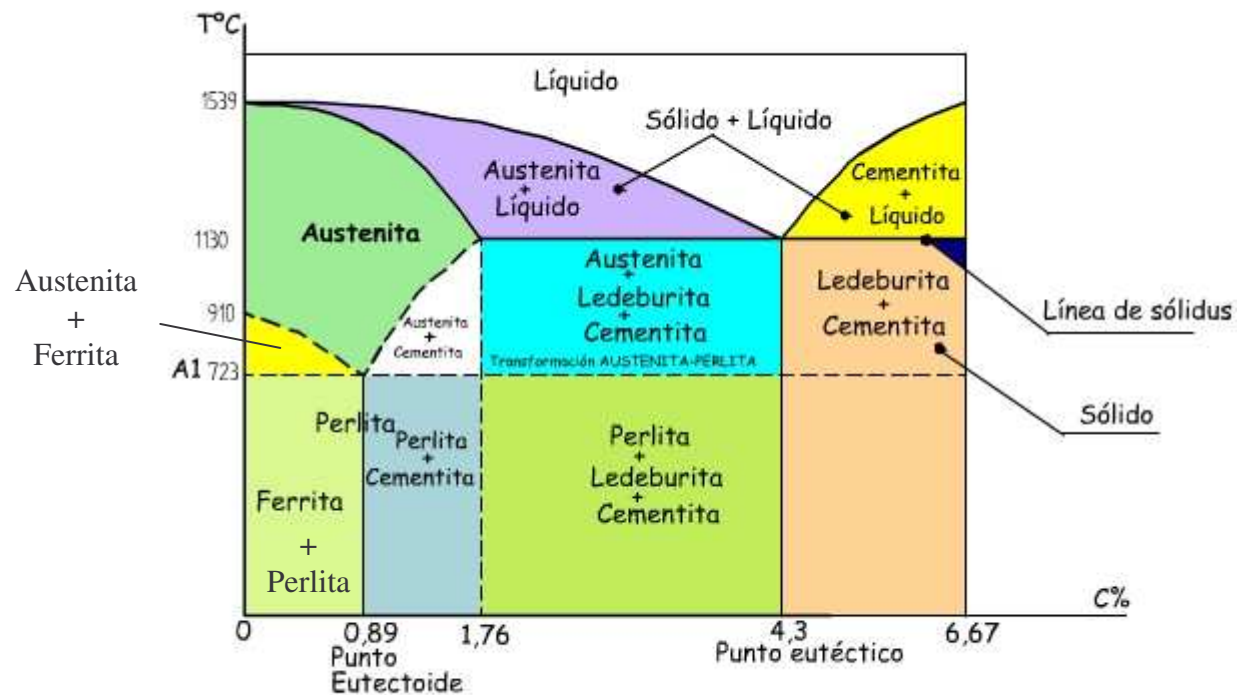
- 1.- Zona líquida: 100% de fase líquida de dos metales solubles (% el de la concentración estudiada)
- 2.-  $\alpha + L$  : 2 fases (una líquida y otra sólida de Sn disuelto en Plomo). Se traza la isoterma y en los puntos de corte de liquidus y solidus se ve la composición de cada fase.
- 3.-  $\beta + L$  : 2 fases (una líquida y otra sólida de Pb disuelto en Sn, muy poco). Se traza la isoterma y en los puntos de corte de liquidus y solidus se ve la composición.
- 4.-  $\alpha$  : 100% de fase sólida de Pb + Sn (concentración directa)
- 5.-  $\beta$  : 100% de fase sólida de Sn + Pb (concentración directa)
- 6.-  $\alpha + \beta$  : 2 fases sólida. Se traza la isoterma y en los puntos de corte de solidus se ve la composición de cada fase.  $\beta$  es estaño puro (por debajo de 150°).  $\alpha$  no es puro

#### 4.- DIAGRAMA HIERRO-CARBONO

Desde el punto de vista industrial, la importancia del hierro se debe a las propiedades que adquiere al ser aleado con el carbono. El carbono se puede encontrar en el hierro de las siguientes formas:

- Disuelto en hierro gamma, formando una solución sólida denominada **AUSTENITA**.
- Disuelto en hierro alfa en muy pequeñas proporciones. **FERRITA**
- Combinado con el hierro, formando un compuesto denominado **CEMENTITA ( $Fe_3C$ )**
- Libre formando láminas o nódulos de grafito. (en las fundiciones)

Los cambios de estado del hierro y el acero se verifican cuando los cambios de temperatura son lentos, según se representa en el diagrama hierro-carbono



## ALEACIONES FÉRRICAS

- **Hierro:** metal técnicamente puro, o con una proporción de C inferior al 0,03%. Se obtiene por procedimientos electrolíticos pero presenta pocas aplicaciones industriales.
- **Acero:** Aleación Fe-C forjable con una proporción de C comprendida entre 0,1 y 2%
- **Fundición:** Aleación Fe-C no forjable con una proporción de C comprendida entre el 2 y 5%

## CONSTITUCIÓN DE LAS ALEACIONES FE-C

**FERRITA:** Solución Sólida por inserción de C en Fe $\alpha$ . Su solubilidad es muy pequeña por lo que se le considera hierro puro.

- Constituyente más blando de los aceros
- Cristaliza en redes BCC
- Magnética

**AUSTENITA:** Solución Sólida por inserción de C en Fe $\gamma$ . Su solubilidad puede llegar hasta el 1,76%

- Constituyente de dureza intermedia
- Cristaliza en redes FCC
- No es Magnética

**CEMENTITA: (Fe<sub>3</sub>C):** Carburo de Hierro

- Constituyente más duro y frágil de los aceros
- Cristaliza en redes ortorrómbicas
- Es Magnética hasta 210° C

**PERLITA:** Es la mezcla eutectoide. Formada por un 86,5% de Ferrita y un 16,5% de Cementita.

- Constituyente de dureza un poco inferior a la austenita
- Tiene generalmente estructura laminar

Pendientes ( Martensita y Bainita)

### ANÁLISIS DIAGRAMA

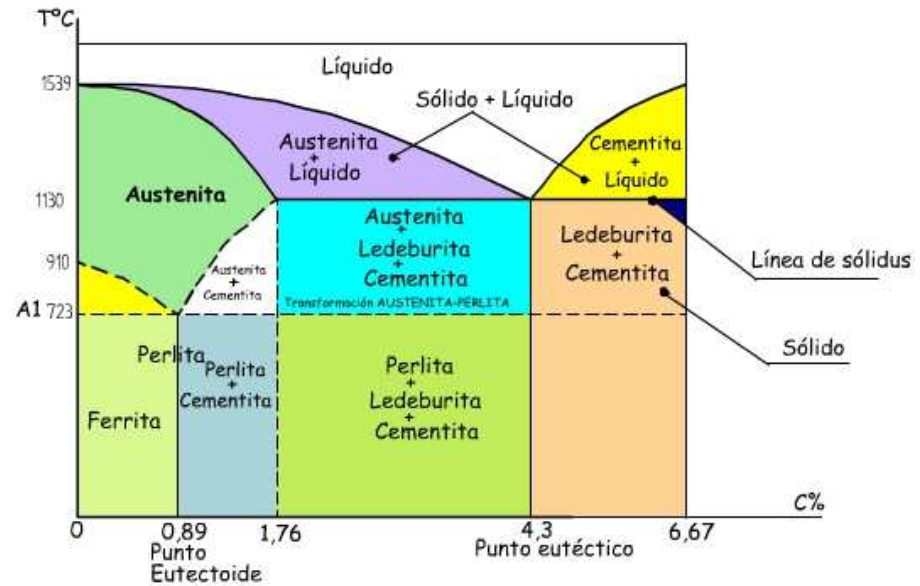
Si sustituimos las referencias en abcisas del Fe-C por Ferrita y Cementita nos encontramos que el punto eutectoide corresponde a un 13,5% de cementita. El eutéctico presenta un 64,5 % de cementita.

Aleaciones (C<1,76%):

Puedes trabajar respecto a la **mezcla eutectoide** (más cómodo) o respecto al 0-100% de Cementita.

**Ej. Aleación 0.3% C a 500°C**

**Está formada por Ferrita y Perlita**



$$W_{FE} = \frac{0,89 - 0,3}{0,89} = 66 \%$$

$$W_{PER} = \frac{0,3}{0,89} = 34 \%$$

De ese 34% el 86,5% será ferrita y el 13,5% cementita:  
 29,5% Ferrita  
 4,5% Cementita  
**FERRITA TOTAL: 95,5%**  
**CEMENTITA TOTAL: 4,5%**

Respecto a Ferrita- Cementita

$$W_{FE} = \frac{6,67 - 0,3}{6,67} = 95,5 \%$$

$$W_{PER} = \frac{0,3}{6,67} = 4,5 \%$$

