

Metalurgia Física

Guía N°1 Solidificación Nucleación:

1. Dibuje la curva de enfriamiento de un metal líquido hasta temperatura ambiente. Sobre esta curva indique la temperatura de solidificación, de fusión y la temperatura de equilibrio entre las fases de sólido y el líquido. Explique.
2. Defina estructuralmente a nivel atómico: gas, líquido y sólido. Compare la densidad del cobre líquido y el sólido. Calcule el cambio de volumen durante el cambio de fase. ¿existe algún metal que se expanda al solidificar?. Explique.
3. Defina embrión y núcleo. Energía de volumen y de superficie. Fuerza motriz de la solidificación y de la fusión. ¿por qué partículas más pequeñas tienen un punto de fusión menor que las más grandes?
4. Defina radio crítico. Subenfriamiento. ¿Por qué no existe sobrecalentamiento entre líquido y sólido? ¿Por qué en las tablas sólo se encuentra la temperatura de fusión de las sustancias y no las de solidificación?
5. Calcule el número de átomos que forman un núcleo de cobre con un subenfriamiento de 20°C y de 200°C.
6. Defina nucleación heterogénea. ¿Por qué el radio de curvatura de la interfaz que separa el sólido del líquido es igual para un subenfriamiento dado, ya sea, nucleación homogénea o heterogénea? ¿Por qué entonces es más fácil la nucleación heterogénea que la homogénea?
7. ¿Qué significa que un líquido moja una superficie? Demuestre que sólo si el sólido moja la superficie ésta sirve de sustrato que facilita la nucleación.
8. Calcule el ángulo de “mojado” del cobre líquido sobre cobre sólido ¿que se concluye?

$$\sigma_s = 1700 \frac{\text{erg}}{\text{cm}^2}; \sigma_{sl} = 177 \frac{\text{erg}}{\text{cm}^2}; \sigma_{lv} = 1270 \frac{\text{erg}}{\text{cm}^2}$$

Textos de referencia:

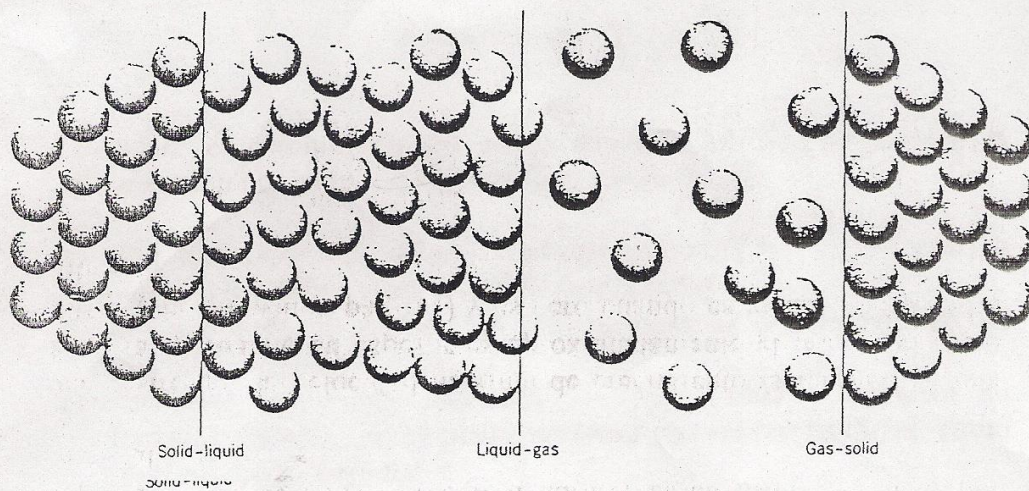
Reed Hill, Shewmon, verhoeven

Wulff (vol II)

9. Considere el crecimiento de sólido a costa del líquido durante la solidificación por avance de la interfase sólido-líquido.
 - a. ¿Por qué crece con mayor facilidad una interfase desordenada o rugosa que una interfase más lisa u ordenada?
 - b. ¿En qué sentido ayudan a las dislocaciones al crecimiento de un cristal?. Explique.
 - c. Considere los planos atómicos {111} y {100} y compare su densidad atómica ¿Cuál plano avanzará con mayor facilidad, como interfase sólido líquido?
 - d. Suponiendo que un núcleo de cobre está formado por los planos indicados en la figura 3.11 ¿Cuál será la forma final luego de crecer por un tiempo prolongado.
10. Defina dendrita ¿Cuál de las siguientes proposiciones en relación al crecimiento dendrítico es la correcta? ¿por qué?

- i. Crece en sentido del máximo gradiente de temperatura.
 - ii. Crece sólo en el sentido de la orientación cristalográfica preferencial.
 - iii. Crece en un compromiso de i y ii.
- 11. Defina crecimiento epitaxial y grano columnar. Segregación interdendrítica y segregación transdendrítica o “coring”.
- 12. Explique el origen de crecimiento dendrítico en un sistema formado por un metal puro.
- 13. Demuestre que la velocidad máxima de crecimiento isotérmico de una dendrita es cuando su espesor es aproximadamente el doble del radio crítico (ver Shewmon pag 177) y es cero cuando es menor que el radio crítico.

Observe y téngase presente las figuras que se muestran a continuación:



SOLIDIFICATION AS AN ATOMIC PROCESS

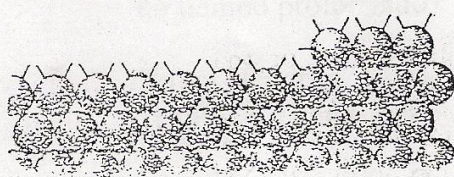


Fig. 2.3. Number of "bonds" per surface atom.

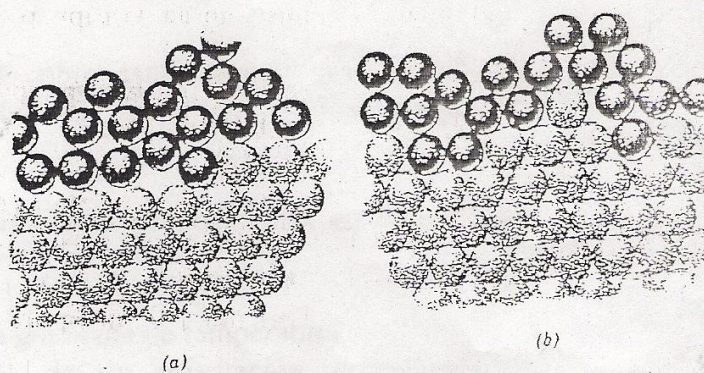


Fig. 2.5. "Smooth" and "rough" solid-liquid interfaces. (a) Smooth. (b) rough.

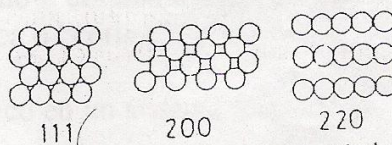


Fig. 3.2 Atomic configurations on the three closest-packed planes in fcc crystal: (111), (200) and (220).

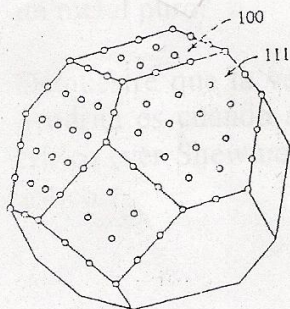


Fig. 3.11. Possible structure for the critical nucleus. (From B. Chalmers, *Physical Metallurgy*, John Wiley and Sons, New York, 1959, p. 246.)

Table 3.1 Surface Energies and Heats of Transformation for Several Metals

	SILVER	GOLD	NICKEL	COPPER
Atomic diameter, Å	2.880	2.878	2.486	2.551
Atomic area on (111) plane, cm ²	7.18×10^{-16}	7.18×10^{-16}	5.35×10^{-16}	5.65×10^{-16}
ΔH_f , kcal/mole	82	60	114	73.3
ΔH_f , kcal/mole	2.27	3.11	4.2	2.67
γ_{sv} , ergs/cm ²	1200	1400	1900	1700
γ_{sl} , ergs/cm ²	126	132	255	177
γ_{vl} , ergs/cm ²	920	—	1825	1270
$\gamma_{sv}/\Delta H_f$	0.151	0.241	0.129	0.188
γ_{sl}/γ_{sv}	0.766	—	0.96	0.75
γ_{sl}/γ_{sv}	0.105	0.044	0.134	0.104
$\gamma_{sl}/\Delta H_f$	0.505	0.435	0.196	0.540

Metalurgia Física

Guía N°3: Solidificación

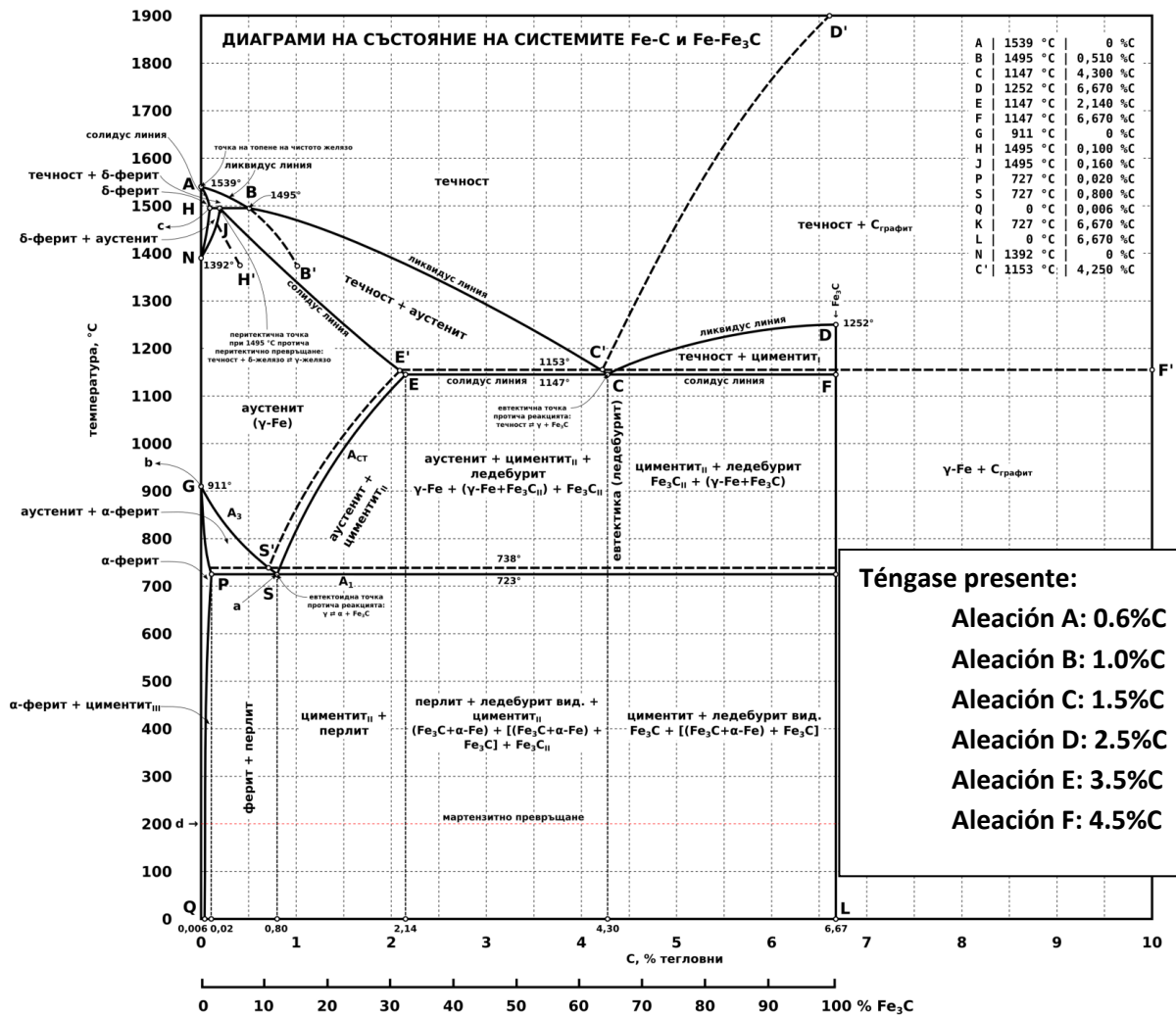
14. Defina coeficiente de distribución de equilibrio. De ejemplos de diagramas binarios con k menor que 1 y con k mayor que 1.
15. Considere la solidificación de un lingote. Grafique la composición del sólido en función de la distancia desde la pared del molde para un bronce 10%Sn si:
 - a. Solidifica bajo condiciones de equilibrio.
 - b. Solidifica en forma "normal", es decir no hay prácticamente difusión en el sólido y el líquido se homogeniza constantemente.
 - c. Sólo hay homogenización por difusión en el líquido. "estrictamente normal".
16. Demuestre mediante una ecuación de balance y conservación total de soluto entre sólido y líquido que durante a solidificación "normal" la composición del sólido en función de la distancia de solidificación x es:

$$C_s = kC_0 \left(\frac{l}{l-x} \right)^{1-k}$$

Donde l es el largo de la solidificación y

- I. Solidus y liquidus son líneas rectas.
 - II. Homogenización en el sólido es prácticamente nula.
 - III. Interfase sólido-líquido es plana.
 - IV. Cambio de densidad entre sólido y líquido es despreciable.
 - V. El líquido se homogeniza constantemente.
 - VI. En la interfaz sólido-líquido siempre está en equilibrio.
17. ¿De qué modo el resultado de problema anterior sirvió de base para que PFANN (1958) propusiera la refinación por zonas?.
 18. Explique el origen de la segregación (coring) durante a solidificación. ¿Por qué no conviene iniciar la laminación o forja en caliente de una aleación Al-3%Cu a 560°C.
 19. Defina y explique el "subenfriamiento constitucional" Muestre su relación con el crecimiento dendrítico.
 20. Solidificación "normal" y "estrictamente normal" del peritético.

PEP III Metalurgia Física. Diagrama de Fases Fe-C



- 1.- ¿Cual tiene más probabilidades de formar dendritas la aleación D o E, demuestre mediante las graficas T-Comp; Comp-distancia, T-distancia?, sea riguroso con la gráfica.
- 2.-La aleación D o E, si en ambas se desean que sean fundiciones grises laminares, cual podría presentar más problemas en su fabricación (en el contexto que la fundición gris se "blanquee"), explique el por qué.
- 3.-Considerando la aleación A y B, calcule y determine cual tendrá mayor segregación de carbono, suponiendo una solidificación estrictamente normal., ¿Cual podrá experimentar mayores problemas en el trabajo de forja en Caliente?

SEA MUY EXTRICTO CON LA OBTENCION DE LOS DATOS DEL DIAGRAMA, UTILICE LAS UNIDADES CORRESPONDIENTES, CONTESTE LA PREGUNTA, SIN CONSULTA SOLO PROBLEMAS DE ENUNICADO LOS PRIMEROS 15 MINUTOS, 2 PTOS CADA PREGUNTA

PEP III Metalurgia Física.

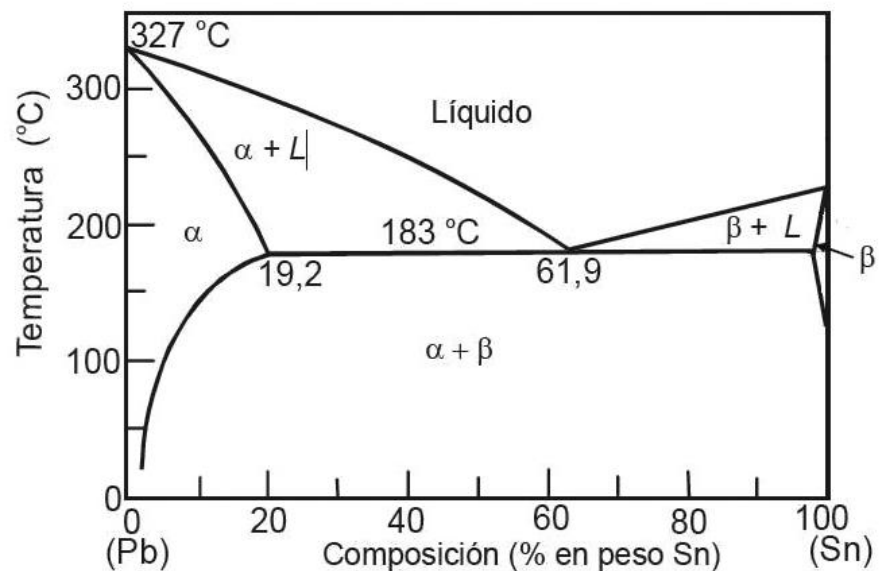
Dadas las siguientes aleaciones:

Aleación A : Pb -10%Sn

Aleación B: Sn-10%Pb.

Aleación C: Pb 5%Sn

- 1) 2 (ptos) Demuestre claramente en base a las gráficas de T-Comp; Comp-distancia, T-distancia cual aleación tiene más posibilidades de tener dendritas (Aleación A o B), sea riguroso y estricto con la figura o no será considerada.
- 2) (1.5 Pto) Si suponemos que en una soldadura que producto de la geometría de la pieza, fue sometida a una alta tasa de enfriamiento. En uso esta pieza podría llegar a una temperatura de 200°C, con estos antecedentes cuál de las tres aleaciones (A, B y C) debería presentar mejores prestaciones. Calcule lo necesario para responder la pregunta.
- 3) (1.5 pto) Si las tres aleaciones (A, B y C), solidificaron de forma normal, cuál de ellas presentara un mayor rango de segregación a temperatura ambiente. (Calculas).
- 4) (1 Pto) Defina, en palabras que entiende por subenfriamiento constitucional



PEP III Metalurgia Física (2.0 ptos cada pregunta)

1.-En una aleación Sn con 10% Pb que solidifica de manera normal, conteste:

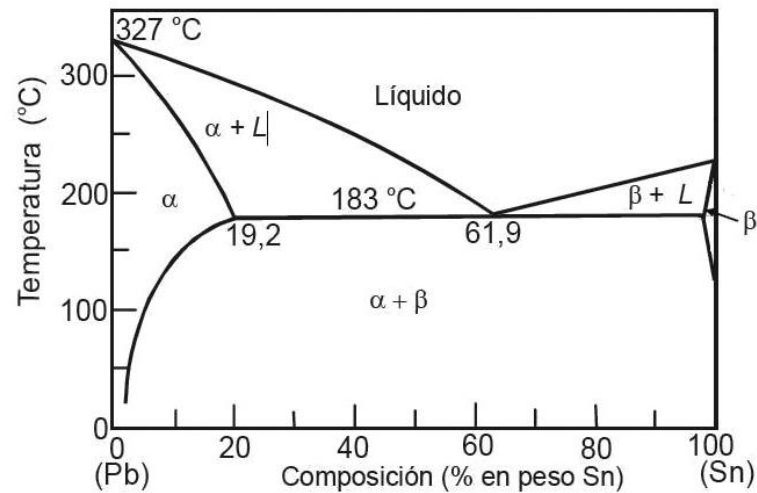
¿Cuál es el intervalo de concentraciones que tendrá la pieza fundida?, es decir su mayor segregación una vez que la pieza ha solidificado totalmente (de manera normal), justifique su respuesta, con todo lo que estime necesario.

2.-Demuestre mediante las gráficas de T-Comp; Comp-distancia, T-distancia.Cuál de las aleaciones (5%Sn y 15%Sn) tiene más posibilidades de formar dendritas durante su solidificación, justifíquelo en función del subenfriamiento constitucional.

Comente su resultado.

3.- Considere el crecimiento de sólido a costa del líquido durante la solidificación por avance de la interfase sólido-líquido.

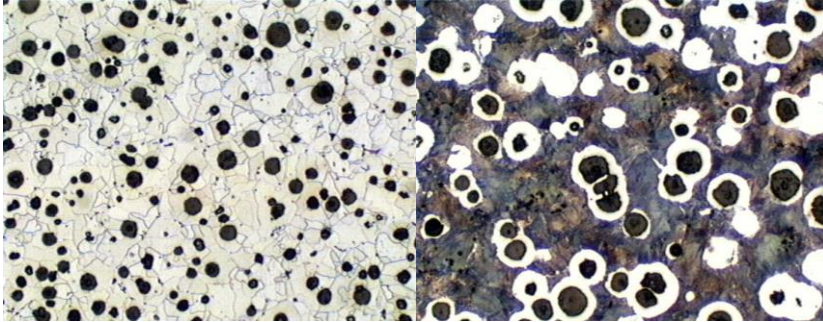
- ¿Por qué crece con mayor facilidad en la pared del molde que en el seno del molde?, explique claramente.
- Considere los planos atómicos del aluminio {111} y {100} y compare su densidad atómica ¿Cuál plano avanzará con mayor facilidad, como interfase sólido líquido?
- Defina dendrita.
- (doble) ¿Cuál de las siguientes proposiciones en relación al crecimiento dendrítico es la correcta? ¿por qué?
 - Crece en sentido del máximo gradiente de temperatura.
 - Crece sólo en el sentido de la orientación cristalográfica preferencial.
 - Crece en un compromiso de i y ii.



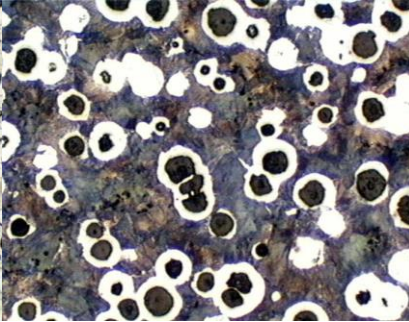
PEP III Metalurgia Física

Dados, Fundiciones A, B y C todas son Hipoeutecticas Y dos aceros: Aleación D: Acero con 1.2%C, Aleación E: Acero con 1.6%C

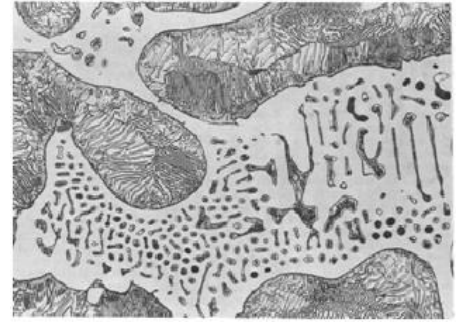
A (100X)



B (100X)

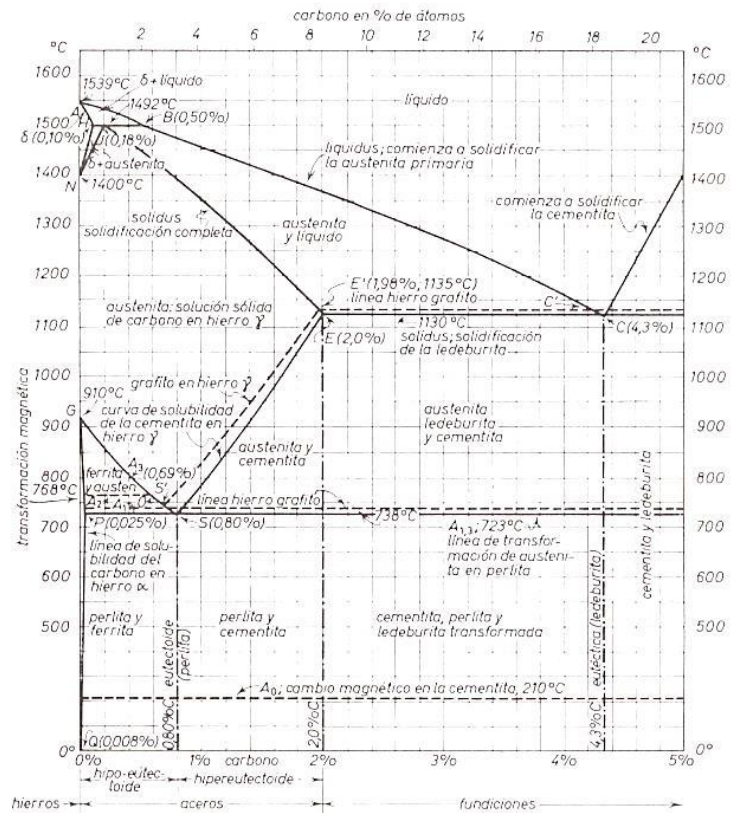


C (500X)



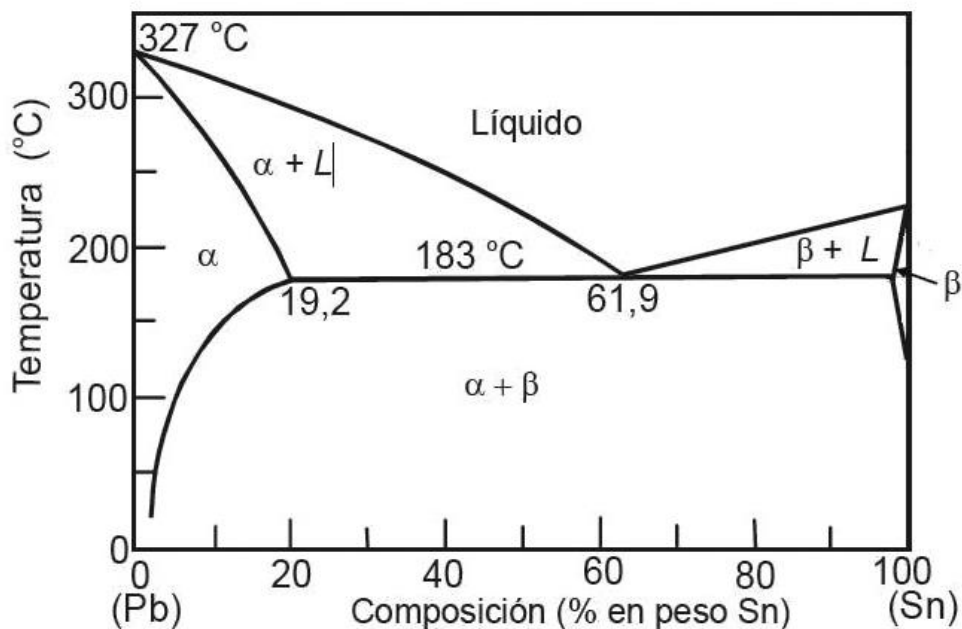
Conteste con V o F, justificando su respuesta.
(un pto cada una)

- 1.-Las tres fundiciones (A, B y C) deben tener distinta composición química.
- 2.-La aleación A es la que presenta menor velocidad de enfriamiento. (Debe sustentarlo con lo que sucede con la B y C)
- 3.-Solo la aleación C es la única que presenta subenfriamiento constitucional. (Debe sustentarlo con lo que sucede con la A y B)
- 4.-La aleación B presenta mayor cantidad de carbono equivalente que la aleación A.
- 5.- (doble) Si el acero D y E solidificaron de manera normal, el acero E presentará mayor probabilidad de tener (demuéstrelo con las curvas de T-Comp, Distancia-comp, Distancia temp.)



Sea estricto con los datos del gráfico y los cálculos del mismo

(Dibuje como ingeniero)



1.-En una aleación Pb con 5% Sn (aleación A) y otra de Pb 15%Sn (aleación B), cuál de las dos aleaciones tiene más posibilidades de formar dendritas, no basta solo decir, sino

justificar claramente su respuesta (SEC).

2.-Que aleación estará más segregada, en condiciones normales de solidificación (Pb 5% Sn (aleación A) y Sn 5%Pb Aleación C), calcule, justifique claramente su respuesta.

3.- Dibuje las curvas de enfriamiento, en una misma gráfica, considerando los siguientes puntos:

- Temperatura de equilibrio
- Temperatura de solidificación
- Temperatura de fusión
- Temperatura de nucleación

Curva 1: Molde grafito, aleación 30%Sn

Curva 2: Molde arena, aleación 30%Sn

Curva 3: Molde grafito, aleación 80%Sn

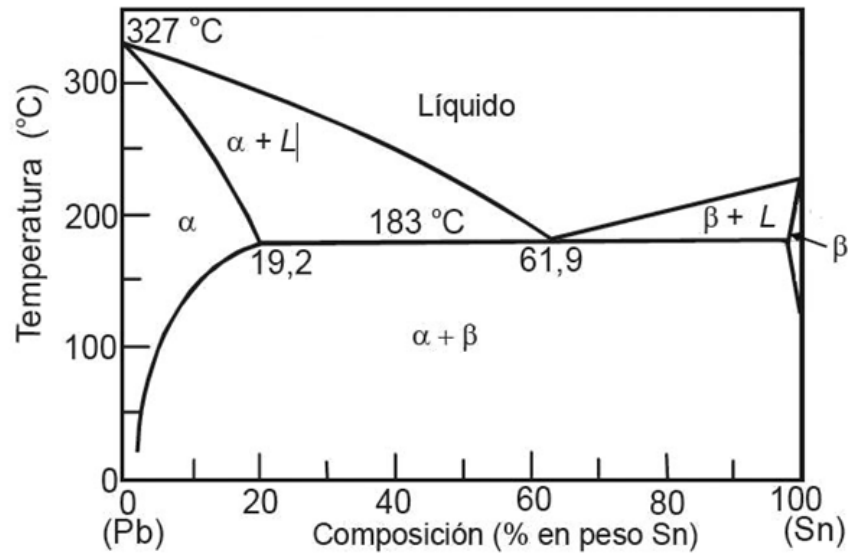
Curva 4: Molde arena, aleación 80%Sn

PMP III Metalurgia Física.

1.-En una aleación Sn con 10% Pb que solidifica de manera normal, conteste:

¿Cuál es el intervalo de concentraciones que tendrá la pieza fundida?, es decir su mayor segregación una vez que la pieza ha solidificado totalmente (de manera normal), justifique su respuesta, con todo lo que estime necesario.

2.-Demuestre mediante las gráficas de T-Comp; Comp-distancia, T-distancia.Cuál de las aleaciones (5%Sn y 15%Sn) tiene más posibilidades de formar dendritas durante su solidificación, justifíquelo en función del subenfriamiento constitucional. **Comente su resultado.**



3.- Considere el crecimiento de sólido a costa del líquido durante la solidificación por avance de la interfase sólido-líquido.

- ¿Por qué crece con mayor facilidad en la pared del molde que en el seno del molde?, explique claramente.
- Considere los planos atómicos del aluminio {111} y {100} y compare su densidad atómica ¿Cuál plano avanzará con mayor facilidad, como interfase sólido líquido?
- Defina dendrita.
- (doble) ¿Cuál de las siguientes proposiciones en relación al crecimiento dendrítico es la correcta? ¿por qué?
 - Crece en sentido del máximo gradiente de temperatura.
 - Crece sólo en el sentido de la orientación cristalográfica preferencial.
 - Crece en un compromiso de i y ii.

4.- Es posible que una aleación 50% Sn tenga una estructura 100% eutéctica. Calcule lo necesario para determinar si es posible o no, y en qué condiciones.

5.- ¿Qué condiciones deben darse para que en la fabricación de una pieza de fundición gris esta pueda blanquearse en algunas zonas?

PMP III-1 Metalurgia Física.

Dadas las siguientes aleaciones:

Aleación A : Pb -10%Sn

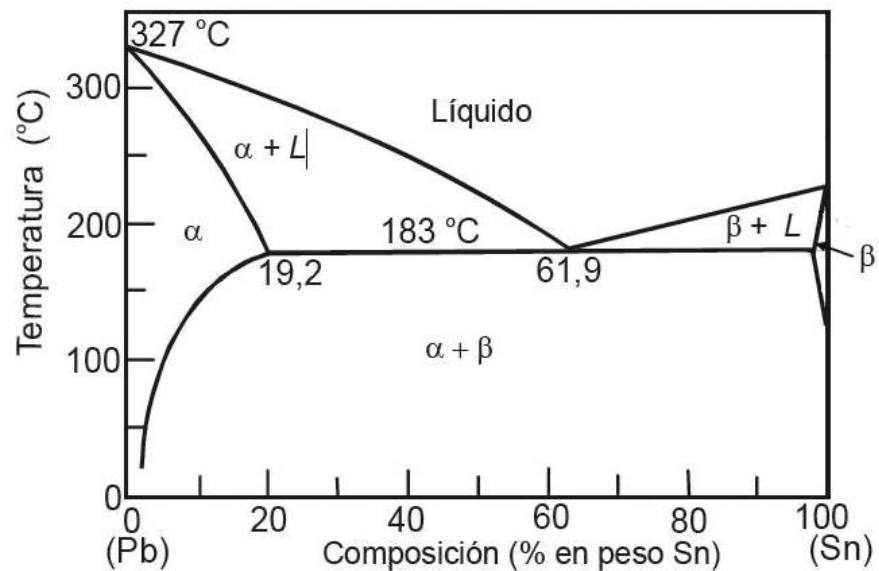
Aleación B: Sn-10%Pb.

Aleación C: Pb 5%Sn

1) 2 (ptos) Demuestre claramente en base a las gráficas de T-Comp; Comp-distancia, T-distancia cual aleación tiene más posibilidades de tener dendritas (Aleación A o B), sea riguroso y estricto con la figura o no será considerada.

2) (2 Pto) Si suponemos que en una soldadura que producto de la geometría de la pieza, fue sometida a una alta tasa de enfriamiento. En uso esta pieza podría llegar a una temperatura de 200°C, con estos antecedentes cuál de las tres aleaciones (A, B y C) debería presentar mejores prestaciones. Calcule lo necesario para responder la pregunta.

3) (2 pto) Si las tres aleaciones (A, B y C), solidificaron de forma normal, cuál de ellas presentara un mayor rango de segregación a temperatura ambiente. (Calculas).

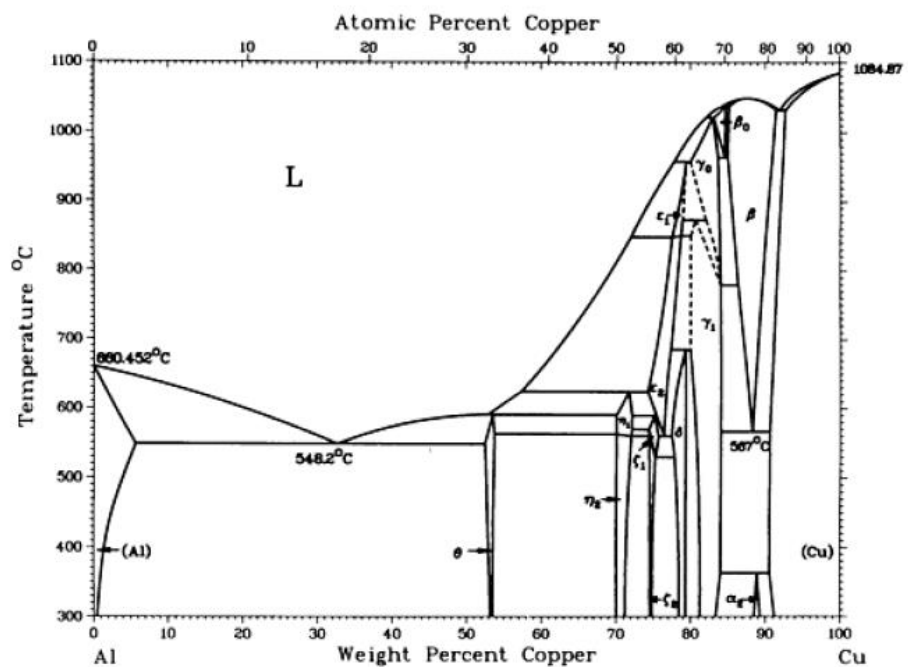
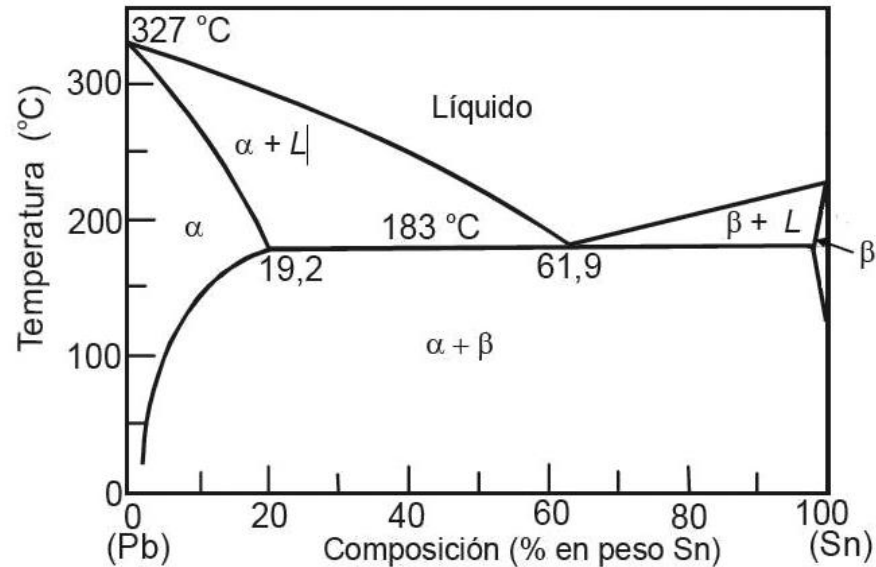


PMP III Metalurgia Física. (sin libros ni apuntes)

1.-Dibuje en la misma grafica de dos composiciones (diagrama Pb Sn, 20%Sn y 50 %Sn), las curvas de enfriamiento en un molde de arena y un molde metálico (**cuatro curvas en total, todas en la misma grafica**), identificando la T de fusión, T nucleación, T equilibrio. (Sea minucioso como la gráfica).Comente

2.- Explique claramente mediante subenfriamiento constitucional donde es más probable el crecimiento dendrítico en dos aleaciones ambas con K mayor a 1, donde el K de la aleación A es mayor que el K de la aleación B. Conteste en base a las gráficas de T-Comp; Comp-distancia, T-distancia.

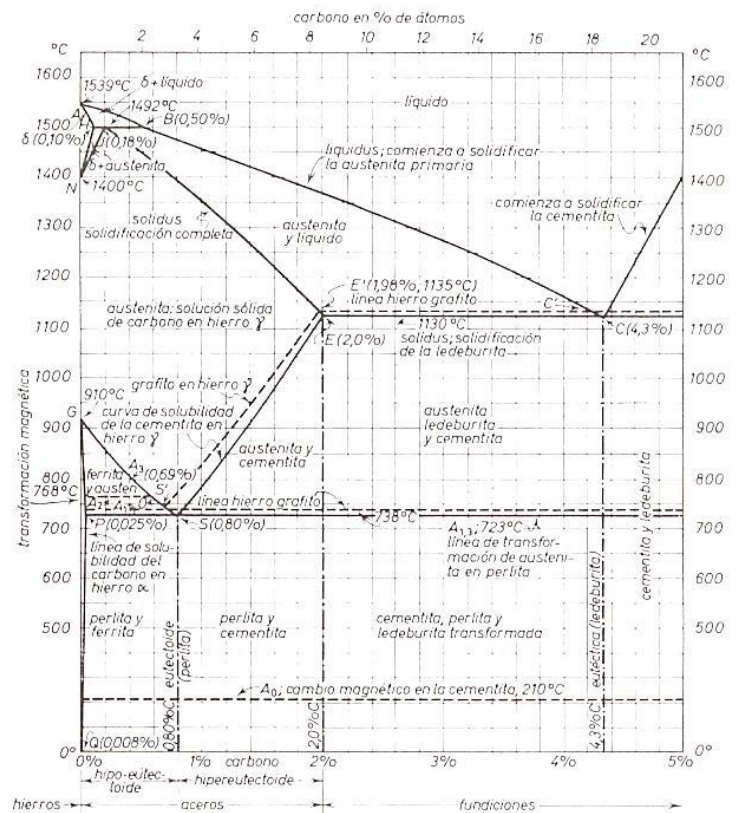
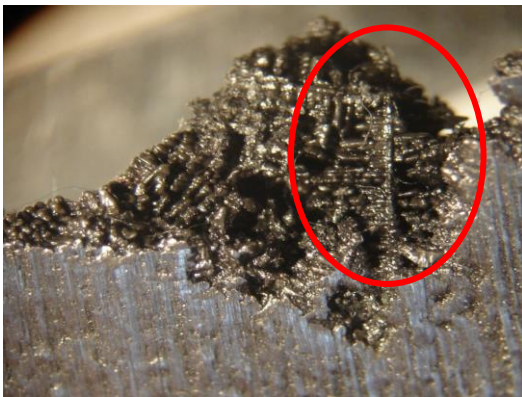
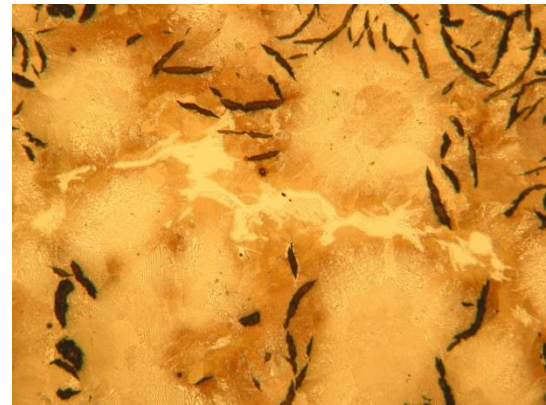
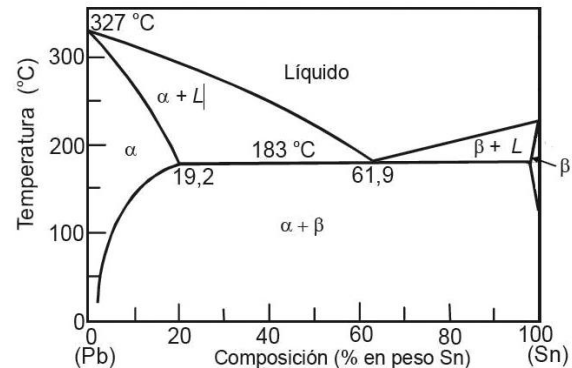
3.- ¿Por qué no conviene iniciar la laminación o forja en caliente de una aleación Al-3%Cu a 560°C que solidifico en forma Normal? **CALCULE** (de lo contrario no se considerará la respuesta), todo lo necesario para contestar la pregunta. Si no es conveniente, que propondría hacer.



PMP III: Metalurgia

Conteste verdadero o falso, argumentado la respuesta (cálculos, lo que estime necesario), o no será considerada

- 1.- Una aleación de 35%Pb con estaño, puede generar una estructura 100% eutéctica.
- 2.- Si una aleación 10% estaño con plomo solidifico de una manera estrictamente normal y luego es deformada a 180°C puede generar fragilización en caliente.
- 3.-En la metalografía de una fundición gris, esta se enfrío a una velocidad cercana al equilibrio.
- 4.-la presencia de carburos refleja que solidifico muy lejos del equilibrio.
- 5.-Si se supone ahora que es una fundición gris es hipereutéctica, la dendrita que se muestra en la figura es de grafito



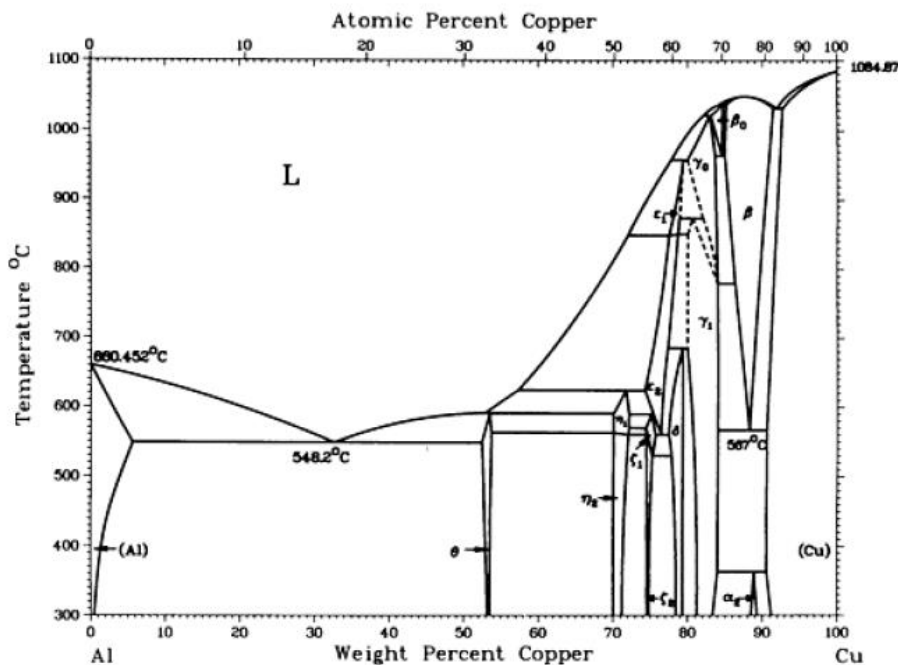
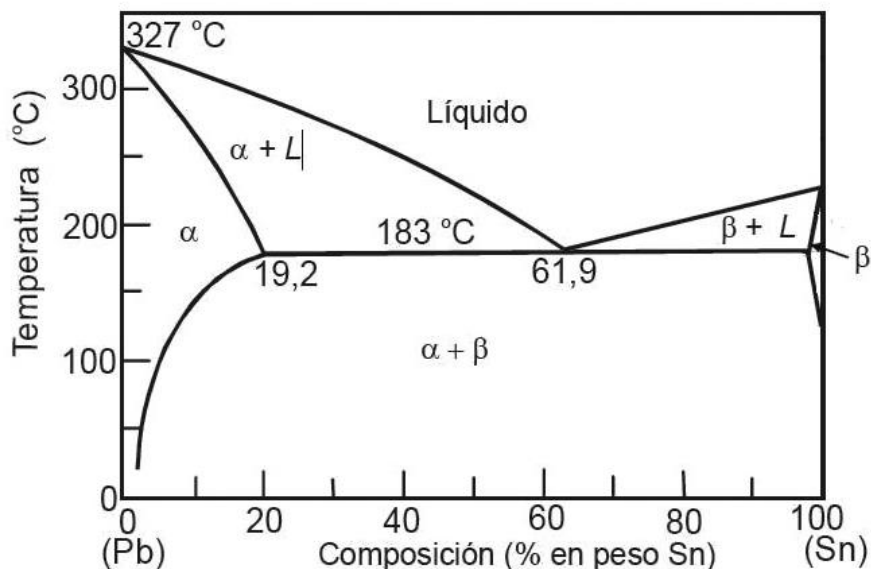
PMP III Metalurgia Física. (sin libros ni apuntes)

1.-Dibuje en la misma grafica de dos composiciones (diagrama Pb Sn, 20%Sn y 50 %Sn), las curvas de enfriamiento en un molde de arena y un molde metálico (**cuatro curvas en total, todas en la misma grafica**), identificando la T de fusión, T nucleación, T equilibrio. (Sea minucioso como la gráfica).Comente

2.- Explique claramente mediante subenfriamiento constitucional donde es más probable el crecimiento dendrítico en dentro de dos aleaciones ambas con K mayor a 1, donde el K de la aleación A es mayor que el K de la aleación B. Conteste en base a las gráficas de T-Comp; Comp-distancia, T-distancia.

3.- ¿Por qué no conviene iniciar la laminación o forja en caliente de una aleación Al-3%Cu a 560°C que solidifico en forma Normal? **CALCULE** (de lo contrario no se considerará la respuesta), todo lo necesario para contestar la pregunta. Si no es conveniente, que propondría hacer.

4.-Proponga la curva de calentamiento de una aleación de Pb 10% estaño, composición eutéctica y una de 80% estaño (coloque, como referencia las temperaturas de equilibrio).



PMP III Metalurgia Física.

1.-Dibuje en la misma grafica de dos composiciones (diagrama Pb Sn, 20%Sn y 50 %Sn), las curvas de enfriamiento en un molde de arena y un molde metálico (**cuatro curvas en total, todas en la misma grafica**), identificando la T de fusión, T nucleación, T equilibrio. (Sea minucioso como la gráfica).Comente

2.- Explique claramente mediante subenfriamiento constitucional donde es más probable el crecimiento dendrítico de dos aleaciones ambas con K mayor a 1, donde el K de la aleación A es mayor que el K de la aleación B. Conteste en base a las gráficas de T-Comp; Comp-distancia, T-distancia.

3.- ¿Por qué no conviene iniciar la laminación o forja en caliente de una aleación Al-3%Cu a 560°C que solidifico en forma Normal? **CALCULE** (de lo contrario no se considerará la respuesta), todo lo necesario para contestar la pregunta. Si no es conveniente, que propondría hacer.

4.-Proponga la curva de calentamiento de una aleación de Pb 10% estaño, composición eutéctica y una de 80% estaño (coloque, como referencia las temperaturas de equilibrio).

