

# FACULTAD DE INGENIERÍA

## AREA DE METALURGIA Y MATERIALES



Nombre de la materia : SOLIDIFICACION  
Clave de la materia: 6120  
Clave CACEI: CI  
Nivel del Plan de Estudios: VIII No. de créditos: 8  
Horas/Clase/Semana: 3  
Horas totales/Semestre: 48  
Horas/Práctica (y/o Laboratorio): 2  
Prácticas complementarias:  
Trabajo extra-clase Horas/Semana: 0  
Carrera/Tipo de materia: Optativa  
No. de créditos aprobados: 315  
Fecha última de Revisión Curricular: Mes 04 Año 06  
Materia y clave de la materia requisito: FORMADO DE MATERIALES, 6074

### JUSTIFICACION DEL CURSO

La solidificación es un proceso primario, muy relacionado con fenómenos de transferencia de calor y masa y la cinética de la interfase, y es el fundamento para entender las modificaciones que se puedan realizar a la microestructura a través de los diferentes procesos de solidificación de los materiales, principalmente en

metales puros y aleaciones; relacionando las estructuras de colada, con las características y propiedades del material y las condiciones físicas de operación del proceso.

### OBJETIVO DEL CURSO

Obtener un conocimiento básico de la mecánica de la solidificación, basados en el conocimiento de la metalurgia y la termodinámica.

### CONTENIDO TEMÁTICO

#### 1. Transferencia de calor en la solidificación.

12 hrs.

##### OBJETIVO:

El alumno aprenderá como solucionar diferentes condiciones de transferencia de calor en el sistema metal molde.

- 1.1 Fenómeno de la transferencia de calor en la solidificación
- 1.2 Flujo de calor en la solidificación y crecimiento de monocristales
- 1.3 Derivación de la ley de CHOVRINOV y el flujo de calor en una colada
- 1.4 Flujo de calor en Procesos de colada usando moldes aislantes
- 1.5 Flujo de calor en procesos de colada en los cuales la resistencia de la interfase es dominante
- 1.6 flujo de calor en la solidificación de lingotes y fundiciones
- 1.7 Soluciones Analíticas del flujo de calor multidimensional
- 1.8 Problemas en el flujo de calor multidimensional
- 1.9 Flujo de calor en un proceso de colada continua

#### 2. Termodinámica de la solidificación

6 hrs.

##### Objetivo:

Es inherente al proceso de la solidificación la aplicación de los fundamentos de la termodinámica para comprender como se desplaza el equilibrio de la fase líquida para convertirse en un sólido a través de una interfase sólido-líquido, donde también se satisface el equilibrio; y como es que las condiciones de equilibrio se modifican por efectos de la propia curvatura de la interfase y por efecto de cambios de presión sobre el sistema.

- 2.1 Termodinámica del equilibrio en metales puros
- 2.2 Termodinámica del equilibrio en aleaciones
- 2.3 Equilibrio de fases metaestables en aleaciones binarias
- 2.4 Composición en la interfase S\_L
- 2.5 Formas de equilibrio de las fases
- 2.6 Anisotropía de la energía libre superficial de la interfase S\_L

#### 3. Enucleación y cinética de la interfase

6 hrs.

##### Objetivo:

Los conocimientos de este tema capacitan al alumno para comprender como es que en el caso de la solidificación, la transformación de la nueva fase cristalina dentro de su propia fase madre que es el fundido se comienza a formar un embrión, que alcanzando un tamaño crítico es capaz de crecer, para poder formar al final del proceso un sólido cristalino.

### 3.1 Teoría de la Nucleación Homogénea

3.1.1 Cálculo de la radio crítico y de la energía de activación del núcleo

3.1.2 Frecuencia de Nucleación

3.1.3 Temperatura o sobreenfriamiento térmico necesario para la nucleación

### 3.2 Teoría de la nucleación heterogénea

3.2.1 Nucleantes y refinamiento de grano

3.3 Comparación entre experimentos y teorías de nucleación

3.4 Cinética y Mecanismos de crecimiento de la interfase S-L

## 4. Crecimiento de aleaciones monofásicas con un frente de solidificación 3 hrs.

Objetivo:

Las teorías de redistribución de soluto en un proceso de crecimiento unidireccional con interfaz plana, para aleaciones monofásicas, dan las pautas para entender como se redistribuye la concentración de solutos en un material, bajo diferentes condiciones de solidificación.

4.1 Coeficiente de partición

4.2 Teorías de distribución de soluto con congelamiento normal

4.3 Efecto de la convención en la distribución de soluto

4.4 refinación Por zonas

## 5. Crecimiento celular (morfologías de la interfase s-l) 4 hrs.

Objetivo:

Este tema es una parte fundamental para entender el fenómeno de crecimiento celular que se da en aleaciones tecnológicamente importantes como las fundiciones y las aleaciones eutécticas, así como también para entender el fenómeno de segregación que ocurre en las aleaciones.

5.1 Sobreenfriamiento constitucional y la formación de celda

5.2 Teoría de la estabilidad de la interfase

5.3 Estructuras celulares

5.3.1 Evolución de las inestabilidades o subestructuras de microsegregación con el sobreenfriamiento constitucional

5.4 Espaciamiento intercelular

5.5 Redistribución de soluto en solidificación celular

## 6. Solidificación de aleaciones polifásicas 5 hrs.

Objetivo:

Este tema lleva al alumno a poder comprender la importancia de materiales que al solidificarse sufren una transformación, en las cuales sus propiedades tienen una gran relevancia derivada de la microestructura de solidificación.

6.1 Solidificación de un peritético

6.2 Solidificación eutéctica

6.2.1 Clasificación de eutécticos

6.2.2 Cristalografía de eutécticos

6.2.3 Intervalo de formación de microestructuras eutécticas

6.3 Solidificación de monotecticos

## 7. Flujo de fluidos y estructuras de colada 7 hrs.

Objetivo:

El análisis de este tema tiene como propósito entender el comportamiento de una aleación fundida en relación a sus propiedades de fluidez. La habilidad del metal o aleación fundida para fluir conlleva dos aspectos fundamentales: primero, es que metal fundido en un contenedor o crisol puede ser vaciado en un molde o lingotera para solidificar; segundo, es que el movimiento relativo de diferentes partes del líquido puede ocurrir mientras se esta solidificando. Ambos aspectos son relevantes en conexión con la estructura de colada en el mas amplio y extenso sentido de la palabra, pues de aquí se derivan las condiciones de la forma, tamaño, orientación cristalina y perfección del cristal: distribución en el metal de los elementos químicos, esto es macro y microsegregación, precipitación de inclusiones; y la topología externa e interna de la aleación: porosidad, tersura de la superficie, y la forma y acabado de la superficie.

7.1 Fluidez

7.2 Convección volumétrica en el líquido

7.2.1 Manipulación del Flujo del fluido

7.3 Multiplicación Cristalina

7.4 Estructura de Lingotes

7.4.1 Zona Chill

7.4.2 Zona Columnar

7.4.3 Zona Equiaxial

7.5 Flujo del Fluído Interdentrico y Macrosegrecación

7.5.1 Macrosegrecación en Lingotes Industriales

7.6 Porosidad e Inclusiones

7.7 Problemas específicas del flujo de fluidos aplicados a procesos metalúrgicos

## 8. Procesamiento y propiedades 5 hrs.

Objetivo:

El fin de este tema es cuestionar y razonar sobre todo el fenómeno de los defectos de colada y de microestructura que generalmente ocurren casi en cualquier proceso de solidificación. Es decir si ya los tenemos que hacer con ellos. Como eliminarlos o disminuir la influencia negativa sobre las propiedades de los materiales.

8.1 Tratamiento de homogeneización en materiales monofásicos

- 8.2 Tratamientos de solubilización en aleaciones polifásicas
- 8.3 Propiedades Mecánicas de estructuras de colada equiaxiadas

- 8.4 Propiedades de estructuras columnares
- 8.5 Propiedades de compuestos alineados
- 8.6 Efectos del Trabajo sobre la homogeneización y sobre las propiedades.

### METODOLOGÍA

Exposición de temas, análisis y resolución de problemas, y ejemplos prácticos, interacción con los alumnos a través de tareas, preguntas, seminarios sobre temas o

artículos referentes al curso con trabajo individual o colectivo.

### EVALUACIÓN

Promedio de exámenes parciales, asistencia y participación en clase y laboratorio

### BIBLIOGRAFÍA

#### BIBLIOGRAFIA BASICA.

- a. Flemings, M.C., 1974, Solidification Processing, McGraw-Hill.
- b. Cahn, R.W. and Haasen, P., 1983, Solidification, chapter 9, Physical Metallurgy, Elsevier Publishing Co.

#### BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA.

- c. Reed Hill, R.E., 1973, Principios de Metalurgia Fisica 2a. Ed., Compañía Editorial Continental, S.A. Mexico.
- d. Minkooff, I., 1986, Solidification and Cast Structure, John Wiley and Sons.