

CIES-PI-C- N-6

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

CUARTO CURSO PANAMERICANO DE METALURGIA
CALENDARIO Y PROGRAMA
(Ciclo de Especialización)

Departamento de Metalurgia
Buenos Aires - Agosto 1968

CON LA COOPERACION DE:

Banco Interamericano de Desarrollo, dentro de los propósitos generales de la Alianza para el Progreso.

Consejo Británico de Relaciones Culturales.

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina.

Fundación Ford.

Servicio de Cooperación Técnica de la
Dirección General de Asuntos Culturales y Técnicos
del Ministerio de Relaciones Exteriores de Francia.

Organización de las Naciones Unidas para la
educación, la ciencia y la cultura (UNESCO)

BECAS OTORGADAS POR:

Astarsa

Armada Argentina

Comando en Jefe del Ejército

Hojalata y Lámina S.A. (México)

Siam Electromecánica S.A.

Organización de los Estados Americanos (OEA)

CALENDARIO - II CUATRIMESTRE

Agosto		Lunes 5	Martes 6	Miércoles 7	Jueves 8	Viernes 9
		I ₁ T	I ₂ T	I ₂ F	13 T	I ₄ T
		I ₁ F/S				I ₃ F
		Lunes 12	Martes 13	Miércoles 14		Viernes 16
		I ₅ T	I ₆ T	I ₇ T		I ₈ T
		II ₁ F/S	II ₂ F	II ₃ F		II ₄ F
		Lunes 19	Martes 20	Miércoles 21	Jueves 22	Viernes 23
		II ₅ F	II ₆ F	II ₇ F	II ₈ F	II ₉ F
		I ₉ T/S				
		Lunes 26	Martes 27	Miércoles 28	Jueves 29	Viernes 30
		Examen I T	II ₂ T	II ₃ T	II ₄ T	II ₅ T
		II ₁ T/S				
Septiembre		Lunes 2	Martes 3	Miércoles 4	Jueves 5	Viernes 6
		II ₆ T	II ₇ T	I ₅ F	II ₈ T	II ₉ T
		Examen II F	I ₄ F		I ₆ F	III ₁ T
		Lunes 9	Martes 10	Miércoles 11	Jueves 12	Viernes 13
		III ₁ F	III ₂ T	III ₂ F	III ₃ T	III ₃ F
		S				Examen II T
		Lunes 16	Martes 17	Miércoles 18	Jueves 19	Viernes 20
		III ₄ T	III ₄ F			Ex. III ₄ F-III ₄ T
		IV _p T/S	IV _p T		IV _p T	IV _p T
		Lunes 23	Martes 24	Miércoles 25	Jueves 26	Viernes 27
		IV ₁ T	IV ₂ T	I ₇ F	IV ₃ T	3 JM
		3 JM	3 JM	3 JM	3 JM	3 JM
		Lunes 30	Martes 1	Miércoles 2	Jueves 3	Viernes 4
		IV ₄ T	IV ₅ T	IV ₆		Examen IVT
		I ₈ F/S	I ₉ F			Examen I F

Octubre		Lunes 7	Martes 8	Miércoles 9	Jueves 10	Viernes 11
		TP	TP	TP	TP	TP
		TP	TP	TP	TP	TP
		Lunes 14	Martes 15	Miércoles 16	Jueves 17	Viernes 18
		TP	TP	TP	TP	TP
		TP	TP	TP	TP	TP
		Lunes 21	Martes 22	Miércoles 23	Jueves 24	Viernes 25
		TP	TP	TP	TP	TP
		TP	TP	TP	TP	TP
		Lunes 28	Martes 29	Miércoles 30	Jueves 31	
		VF	VF	VF	VF	
		VF	VF	VF	VF	
Noviembre		Lunes 4	Martes 5	Miércoles 6	Jueves 7	Viernes 8
		I ₁ O	II ₁ O	I ₂ O	II ₂ O	I ₃ O
		IV ₁ F		IV ₂ F		IV ₃ F
		Lunes 11	Martes 12	Miércoles 13	Jueves 14	Viernes 15
		II ₃ O	I ₄ O	II ₄ O	I ₅ O	II ₅ O
			IV ₄ F	TP II O	IV ₅ F	TP II O
		Lunes 18	Martes 19	Miércoles 20	Jueves 21	Viernes 22
		III ₁ O	II ₆ O	III ₂ O	II ₇ O	III ₃ O
		I ₆ O/S	TP II O	I ₇ O	TP II O	I ₈ O
		Lunes 25	Martes 26	Miércoles 27	Jueves 28	Viernes 29
		IV ₁ O	IV ₂ O		IV ₃ O	IV ₄ O
		II ₈ O	III ₄ O	TP II O	III ₅ O	
Diciembre		Lunes 2	Martes 3	Miércoles 4	Jueves 5	Viernes 6
		IV ₅ O	IV ₆ O		IV ₇ O	IV ₈ O
		Lunes 9	Martes 10	Miércoles 11	Jueves 12	Viernes 13
			EXAMENES			

CLAVE DE MATERIAS

Especialidad: METALURGIA TECNOLÓGICA

- I T Fundición
Dr. J.L. Walker, General Electric Research Lab., USA
9 clases
- II T Tratamientos Térmicos
Dr. C.M. Sellars, Universidad de Sheffield, Inglaterra
9 clases
- III T Termodinámica Metalúrgica
Dr. P. Desré, Ecole Nationale Supérieure d'Electrochimie
et d'Electrometallurgie de Grenoble, Francia
4 clases
- IV_P T Introducción al Trabajo Mecánico
Ing. L. Braun Bidau, Astarsa
Ing. L. Iurman, Universidad del Sur
Ing. C. Martínez Vidal, Departamento de Metalurgia, CNEA
4 clases
- IV T Trabajo Mecánico
Dr. E.G. Thomsen, Universidad de California, USA
Ing. C. Martínez Vidal, Departamento de Metalurgia, CNEA
6 clases

Especialidad: METALURGIA FÍSICA

- I F Defectos en metales
Dr. E. Bisogni, Departamento de Metalurgia, CNEA
9 clases
- II F Teoría de Aleaciones
Dr. T. Massalski, Mellon Institute, USA
9 clases

- III F Termodinámica de los procesos irreversibles
Dr. P. Desré, Ecole Nationale Supérieure d' Electrochimie
et d' Electrometallurgie de Grenoble, Francia
4 clases
- IV F Propiedades anisotrópicas de materiales y cambios de fase
de primer orden
Dr. D. Lieberman, Universidad de Illinois, USA
5 clases

MATERIAS OPTATIVAS

- I O Metalurgia Nuclear
Dr. F. Foote, Argonne National Laboratory, USA
8 clases
- II O Soldadura
Dr. R.L. Apps, The College of Aeronautics, Cranfield,
Inglaterra
8 clases
- III O Elementos combustibles UO_2 - Zr
Dr. J.L. Bernard, Centre d' Etudes Nucleaires de Saclay,
Francia
5 clases
- IV O Corrosión
Dr. T.P. Hoar, Universidad de Cambridge, Inglaterra
8 clases
- S Seminarios
- TP Trabajos prácticos avanzados a realizarse dentro de alguno
de los grupos de trabajo del Departamento de Metalurgia o en
fábricas metalúrgicas del país
- VF Visitas a fábricas
- 3 JM Terceras Jornadas Metalúrgicas de la Sociedad Argentina de
Metales

PROGRAMAS

ESPECIALIDAD: METALURGIA TECNOLÓGICA

I T FUNDICION

Prof. Dr. J.L. Walker

1. Introducción

A. Definición de Fundición de un metal o aleación

B. Problemas en la práctica de Fundición

C. Procesos de Fundición como son definidos por la Tecnología de Fundición

1. Fundición en arena

2. Fundición por cera perdida

3. Moldes permanentes (coquilla)

2. Principios de Solidificación

A. Cambios discontinuos durante la solidificación

1. Nucleación del sólido

2. Cambio en el contenido calórico (flujo calórico)

3. Cambio en la resistencia a las fuerzas de corte

4. Cambio en la composición química de aleaciones (redistribución del soluto)

5. Cambio de volumen (contracción)

3. Estructura metálica de metales y aleaciones fundidas

A. Tamaño de grano, forma y orientación

B. Microsegregación de elementos químicos

C. Macrosegregación de elementos químicos

- D. Porosidad gaseosa
- E. Superficie en la interface metal-molde
- F. Porosidad por contracción

4. Tecnología de Fundición

A. Alimentación de fundiciones

- 1. eliminación de porosidad debida a la contracción
- 2. exigencias de un alimentador
- 3. tamaño del alimentador y solidificación unidireccional
- 4. Control de la solidificación direccional
 - a. Ubicación de alimentadores y cálculo de las distancias de alimentación.
 - b. Efecto de los enfriadores.

B. Sistemas de canales de colada en fundición

- 1. Alimentación superior
- 2. Alimentación por la base
- 3. Alimentación a diferentes niveles
- 4. Consideraciones teóricas en alimentación
 - a. Turbulencia durante el llenado
 - b. Fluidez

C. Control de los defectos de Fundición

- 1. Roturas en caliente y en frío
- 2. Imperfecciones de superficie
- 3. Burbujas, basura y escoria
- 4. Gas

5. Desarrollos recientes en tecnología de Fundición

- A. Aleaciones solidificadas direccionalmente
- B. Control de tamaño de grano en fundición
- C. Fundiciones de alta calidad
- D. Comparación de cálculos teóricos y resultados experimen-

tales

E. Fundición a presión de aleaciones ferrosas

F. Nuevas técnicas de moldeo

II T TRATAMIENTOS TERMICOS

Prof. Dr. C.M. Sellars

Introducción

Efecto de la microestructura sobre la Resistencia Mecánica

Reacciones en estado sólido

Cinética de las reacciones controladas por difusión y martensíticas

Principios de los tratamientos térmicos:

- (a) Soluciones sólidas: ejemplos de aleaciones de Cu y Ni
- (b) Envejecimiento: ejemplos de aleaciones de Al, Cu y Ni
- (c) Ordenamiento: ejemplos de aleaciones de Cu y Au
- (d) Transformaciones alotrópicas: ejemplos de bronce de Al; aleaciones de Ti; aceros al C simples
- (e) Reacciones gas-metal, carburación, nitruración

Tratamientos Térmicos de aceros:

Descomposición de austenita isotérmicamente y en enfriamiento continuo. Efecto de elementos aleantes.

Templado, Templabilidad

Aceros especiales

III T TERMODINAMICA METALURGICA

Prof. Dr. P. Desré

- 1. Termodinámica química general.
- 2. Termodinámica de las aleaciones binarias:
 - 1) Fracciones parciales molares

2) Relación de Gibbs-Duhem

3) Soluciones binarias:

- a) soluciones regulares,
- b) soluciones ideales,
- c) soluciones cualesquiera,
- d) soluciones diluídas

3. Estimaciones de las actividades en los sistemas binarios:

- 1) Estimación a partir de los diagramas de fase.
- 2) Estimación a partir de los modelos de soluciones.

4. Los sistemas ternarios:

- 1) Fracciones
- 2) Coeficientes de interacción

5. Problemas.

IV_P T INTRODUCCION AL TRABAJADO MECANICO

Profesores: Ing. L. Braun Bidau, Ing. Lucio Iurman,

Ing. C. Martínez Vidal

1. Análisis de tensiones

Tensiones en un punto. Resultante sobre un plano oblicuo. Tensiones principales. Representación geométrica de estados de tensiones. Casos particulares de estados de tensiones.

2. Notación tensorial

Transformación de coordenadas. El tensor tensión. Tensor tensión esférico y desviador. Invariantes del tensor tensión.

3. Análisis de deformaciones

Desplazamientos y deformaciones. Tensor deformación. Invariantes del tensor deformación. Representación geométrica. Deformaciones finitas. Tensor velocidades de deformación. Deformaciones no-uniformes y distribución de velocidades de deformación.

4. Relaciones tensión-deformación

Comportamiento elástico: Ley de Hooke generalizada. Energía elástica. Comportamiento plástico. Criterios de fluencia. Endurecimiento por trabajado. Ecuaciones de Levy-Mises y Prandtl-Reuss. Trayectorias de tensiones y deformaciones.

5. Métodos de solución de problemas de trabajado I

Generalidades. Método de energía uniforme de deformación plástica. Método de bloque ("slab"). Determinación experimental de las velocidades de deformación. Método de viscoplasticidad.

6. Métodos de solución de problemas de trabajado II

Método de "líneas de deslizamiento". Ventajas y desventajas. Problemas estáticamente determinados. Propiedades de las "líneas de deslizamiento" (Teoremas de Hencky). Diversos tipos de "líneas de deslizamiento". Métodos de construcción: numérico, secante, de cuña, etc.) Solución completa. Métodos de límite. Teorema del límite inferior. Solución del límite superior. Método de Kudo de límite superior.

IV T TRABAJADO MECANICO DE METALES

Profesores Dr. E.G. Thomsen e Ing. C. Martínez Vidal

1. Procesado de metales

Definición. Alcances. Clasificación de procesos. Límites de la deformación plástica. "Sistema por enfoque" (Approach System).

2. Forjado

Método de energía uniforme. Deformación plana por compresión (Método de bloque). Comparación de presiones teóricas y experimentales. Forjado continuo. Forjado en matriz cerrada. Defectos en forjado.

3. Extrusión

Clasificación de los procesos de extrusión. Diagramas de es-

fuerzos. Métodos de solución. Extrusión de barras y perfiles.

4. Extrusión por impacto
Extrusión de tubos y envases. Cálculo de cargas para extrusión de envases de paredes delgadas. Cálculo de la fuerza.
5. Laminación de placas y chapas
Trabajo de deformación, fuerza separadora y presión de laminación. Laminado con tracción delantera y trasera. Aplastamiento de rodillos. Aplicación de "campo de líneas de deslizamiento" y límite superior a las teorías de laminación.
6. Trefilación
Trefilación de barras y alambres. Métodos para estimar tensiones de trefilación. Medidas del coeficiente de fricción en trefilación de alambres.
Trefilación de tubos. Métodos para estimar las tensiones de trefilación.
7. Maquinado
Mecanismos de formación continua de viruta. Teorías de Ernst y Merchant y de Lee y Shaffer. Teoría de Hill. Observación experimental.

ESPECIALIDAD: METALURGIA FISICA

I F DEFECTOS EN METALES Prof. Dr. E. Bisogni

Defectos puntuales y intersticiales y vacancias. Ecuaciones de equilibrio termodinámico de defectos simples y complejos. Entropía de ubicación. Estimación de energías de formación. Asociación de defectos entre sí y con impurezas. Movilidad de defectos aislados y complejos. Estimación de energías de movimiento.

Defectos puntuales y propiedades físicas. Observación directa por microscopía de campo iónico. Cambios en energía almacenada, resistividad eléctrica, parámetro de red y dilatación. Experiencias de Balluffi Simons. Propiedades mecánicas. Cambio de módulo, fricción interna y endurecimiento. Producción de defectos en estado de no equilibrio térmico: irradiación, deformación plástica, templado. Discusión de las condiciones experimentales para realizar templado de vacancias. Determinación experimental de energía de formación de vacancias. Análisis de experiencias de recocido isotérmico e isocronos. Determinación experimental de energía de movimiento de defectos.

Dislocaciones. Consideraciones sobre la evolución histórica de la teoría. Esfuerzo teórico para deformar un cristal perfecto. Observaciones experimentales. Descripción de una dislocación. Vector de Burgers. Definición. Dislocaciones de borde, hélice y mixtas. Conservación del vector de Burgers. Campo de tensiones alrededor de dislocaciones de hélice y borde. Fuerza que actúa sobre una dislocación. Ecuación de Peach y Koehler. Ejemplos.

Energía propia de una dislocación. Tensión de línea. Multiplicación de dislocaciones. Fuentes de Frank y Read. Apilamientos de dislocaciones. Intersección de dislocaciones. Movimiento conservativo y no conservativo de "muescas". Dislocaciones parciales. Fallas de apilamiento. Maclas. Reacciones entre dislocaciones. Barreras de Cottrell-Lomer. Interacción entre dislocaciones y defectos puntuales, de origen elástico y químico. Otras interacciones. Bordos de pequeño ángulo. Bordos de grano.

Deformación de monocristales por deslizamiento. Plano y dirección de deslizamiento. Ley de Schmid. Tensión y deformación resueltas. Deformación por maclado. La curva tensión deformación para monocristales f.c.c. y hcp. Teoría de la consolidación. Deformación de policristales. Bandas de Lüders y puntos de fluencia. Dependencia de la tensión de fluencia en el tamaño de grano.

Movimiento de dislocaciones activado térmicamente, creep.

Dependencia de la temperatura de la tensión de fluencia. Discusión de mecanismos.

Efectos de solutos sustitucionales, precipitación y ordenamiento sobre la consolidación. Fractura dúctil y frágil.

II F TEORIA DE ALEACIONES
Prof. Dr. T. Massalski

1. Enfoque termodinámico de estabilidad y equilibrios de fases; elementos de mecánica estadística; aproximación cuasi-química; cálculo de diagramas de fases a partir de los primeros principios.
2. Energía de deformación en soluciones sólidas; conceptos de tamaño atómico, factores de tamaño; efectos de tamaño en soluciones sólidas; variaciones de espaciados de red; empaquetamiento atómico en estructuras cristalinas; coordinación y otros factores geométricos.
3. Reseña de algunos conceptos de las teorías electrónicas de los metales; zonas de Brillouin y zonas de energía; pseudo potenciales; superficies de Fermi y modelos electrónicos de aleaciones; representación de superficies de Fermi; mediciones de De Haas van Alphen; aniquilación de positrones; calor específico electrónico; espaciados de red de fases electrónicas, algunas propiedades magnéticas, super-redes de período largo.
4. Grupos afines de aleaciones: metales nobles, elementos de transición, tierras raras, etc.; fases electrónicas vs. es-queometría fija; estructuras ordenadas de empaquetamiento compacto, estructuras de capas; química cristalina general de aleaciones; puntos de vista sobre estabilidad.
5. Algunos conceptos de meta-estabilidad; estructuras meta-estables; estados amorfos; cambios rápidos de estructura; diagramas de fase a temperaturas bajas y altas.

III F **TERMODINAMICA DE LOS PROCESOS IRREVERSIBLES**
Prof. Dr. P. Desré

1. **Introducción**
2. **El segundo principio y la producción de entropía**
 - 1) El segundo principio
 - 2) Aplicación al estudio de las reacciones químicas
3. **Estudio de las reacciones químicas cerca del equilibrio:**
 - 1) Afinidad de una reacción en función de su velocidad
 - 2) Reacciones simultáneas - coeficientes fenomenológicos
 - 3) Regla de reciprocidad de ONSAGER
4. **Los estados estacionarios:**
 - 1) Transformaciones isoafines
 - 2) Estado estacionario y su estabilidad
 - 3) Reacciones consecutivas en los sistemas abiertos
 - 4) Reacciones acopladas y reacciones invertidas
 - 5) Generalización
5. **Balances energéticos y entrópicos en los sistemas abiertos. Procesos de transporte entre dos fases homogéneas**
 - 1) Balance energético
 - 2) Balance entrópico
 - 3) Estados estacionarios
 - 4) Aplicación del efecto Knudsen-Efecto termomecánico-Separación de isótopos - Efectos electrocinéticos.
6. **Producción de entropía y relaciones entre flujo y fuerzas en los sistemas continuos:**
 - 1) Ecuaciones generales en los sistemas continuos:
 - a) conservación de masa y de energía
 - b) velocidad de difusión

- 2) Movimiento de un fluido bajo viscosidad y sin difusión
- 3) Movimiento de un fluido bajo viscosidad y con difusión
- 4) Termodinámica de los sistemas continuos:

- a) ecuación de Gibbs en forma local,
- b) producción local de entropía,
- c) afinidad y flujo de difusión

7. Difusión:

- 1) Difusión en los sistemas isotérmicos:

- a) caso de los binarios,
- b) caso de los ternarios

IV F PROPIEDADES ANISOTROPICAS DE MATERIALES Y CAMBIOS DE FASE DE PRIMER ORDEN

Prof. Dr. D. Lieberman

Se desarrollará la relación entre propiedades y simetría cristalina utilizando las operaciones de simetría y el álgebra matricial. Estos últimos serán introducidos a medida que se necesiten; se supondrá familiaridad con el uso del álgebra vectorial y las operaciones sobre la red estereográfica. Los métodos del análisis tensorial desarrollados en clase se aplicarán a varios problemas tales como la determinación del número de coeficientes requeridos para caracterizar fenómenos importantes para diversos tipos cristalinos; como por ejemplo: para cristales cúbicos, un coeficiente de difusión pero tres constantes elásticas; para cristales ortorrómbicos tres coeficientes de difusión y nueve constantes elásticas, etc. También se discutirá la aplicación de matrices a maclado y deslizamiento. Se tratará en detalle la teoría de Wechsler, Lieberman y Read sobre la geometría cristalina de las transformaciones martensíticas y se aplicará a varios sistemas metálicos y no metálicos.

MATERIAS OPTATIVAS

I O METALURGIA NUCLEAR

Prof. Dr. F. Foote

Definición de materiales nucleares y metalurgia nuclear.
Reacciones nucleares en relación a la selección de materiales.
Reactores: generalidades, tipos, componentes principales.
Metalurgia de uranio. Procesamiento y fabricación.
Metalurgia de plutonio y sus aleaciones.
Metalurgia de torio.
Materiales cerámicos en elementos combustibles.
Elementos combustibles cerámicos y metálicos.
Fabricación de núcleos cerámicos.
Fabricación de núcleos metálicos
Operaciones de envainado. Control.
Ensayos no destructivos.
Ciclo de combustible.

II O SOLDADURA

Prof. Dr. R.L. Apps

1. Clasificación de procesos, soldadura en estado sólido, brasa-
do y soldadura de bajo punto de fusión.
- 2, 3 y 4 Física del arco, soldadura con electrodo recubierto, procesos
de soldadura con arco sumergido y por fusión de escoria (elec-
troslag), procesos bajo gas inerte (TIG, MIG, MIG-CO₂) y ar-
co con corriente pulsante.
5. Metalurgia de la soldadura - flujo de calor. Solidificación, fi-
surado en caliente, porosidad, fatiga de juntas soldadas.
6. Metalurgia de la soldadura de ferrosos, influencia de hidróge-
no, estructura y propiedades del metal soldado y de la zona a-
fectada por el calor. Fisurado en caliente y en frío.

7. Fractura frágil. Soldadura de acero de medio y bajo carbono.
8. Soldadura de acero inoxidable y aleaciones livianas.

III O ELEMENTOS COMBUSTIBLES UO_2 - Zr

Prof. Dr. J.L. Bernard

Las aleaciones de Zr como material de envainado o de estructura (propiedades físicas, mecánicas, influencia de la irradiación)

Corrosión de las aleaciones de Zr (por agua, gas, vapor)

Fabricación de tubos de vainas y de estructura.

Piezas de estructura de los elementos combustibles (grillas, espaciadores, soportes) constitución, realización.

Los combustibles (propiedades, fabricación).

Técnicas de fabricación de los elementos combustibles.

Técnicas de control.

Concepción y ensayos de comportamiento de los elementos combustibles.

Reactores a D_2O . El canal: tubos de fuerza y calandra - aislamiento térmica - uniones.

IV O CORROSION

Prof. Dr. T.P. Hoar

1. Conceptos básicos de corrosión.
2. Principios de corrosión en soluciones acuosas.
3. Corrosión bimetalica. Ataque localizado.
4. Pasividad y Pasivación.
5. Corrosión a altas temperaturas. Películas de óxidos, propiedades.
6. Factores mecánicos que afectan la corrosión.
7. Prevención y control de la corrosión.
8. Métodos modernos en el estudio de la corrosión.