Programa de
METALURGIA DE TRANSFORMACIÓN

1. NOMBRE DE LA UNIDAD CURRICULAR

Metalurgia de Transformación

2. CRÉDITOS

12 créditos

3. OBJETIVOS DE LA UNIDAD CURRICULAR

Partiendo de la base construida previamente relacionado a los materiales y transferencia de calor, esta unidad curricular propone continuar desarrollando en un estudiante avanzado de ingeniería, la capacidad de análisis y desarrollo en situaciones reales de ingeniería aplicada, basada en el uso de los fundamentos físicos de los materiales metálicos que se utilizan en ingeniería mecánica para el diseño, la fabricación y el mantenimiento de maquinaria, herramientas, estructuras o productos industriales.

Bajo tal contexto y tomando a los procesos térmicos metalúrgicos como objetos de estudio, se buscará generar en el estudiante una experiencia específica en modelado analítico, modelado numérico, modelado experimental y validación entre modelos como herramientas para hacer I+D (investigación y desarrollo) básica en ingeniería (tema 1).

Brindar los conocimientos básicos para aquellas personas que deseen ejercer actividades de inspección, supervisión y control de calidad en soldadura (tema 2). Proporcionar los conocimientos básicos para interpretar la documentación técnica que se maneja en soldadura.

Profundizar en temas relacionados a la manufactura y procesamiento de materiales y estructuras metálicas y su producción tal como en tratamientos térmicos (tema 3), procesos de fundición (tema 4), conformado de chapas y mecanizado (tema 5)

Proporcionar conocimientos en los diversos métodos de ensayos no destructivos. Estos son básicamente: líquidos penetrantes, partículas magnetizables, ultrasonidos, termografía industrial y radiografía industrial (tema 6)

Con la realización de clases de laboratorio se espera reafirmar los conceptos analizados en las clases teóricas y aprender a ensayar las diferentes piezas o componentes que se

pueden encontrar en la industria local. También se realizará la interpretación de las normas UNIT- NM correspondiente a cada método.

4. METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA

El curso tendrá una intensidad semanal de 6 horas de clases presenciales teórico prácticas que podrán incluir actividades en laboratorio o visitas a industrias. Estas horas presenciales se complementan aproximadamente con 6 horas semanales de dedicación personal, entre las cuales se dedicará esfuerzo a la entrega obligatoria de tareas domiciliarias denominadas Tareas Aplicadas en Metalurgia (TAMs), en formato de informes y en equipos de máximo 3 integrantes.

5. TEMARIO

1. **Modelado de Transferencia de Calor**
   - ◦ Introducción a modelado en ingeniería, estrategias, modelos analíticos, modelos experimentales, modelos numéricos, validación.
   - ◦ Modelado numérico de procesos térmicos 1D en régimen estacionario y validación por modelos analíticos.
   - ◦ Aplicaciones de procesos térmicos cuasi-estacionarios 1D. Análisis de casos ideales y sus limitaciones para paredes de hornos de tratamientos térmicos y laminación en caliente de placas, tochos y redondos macizos de aluminio y aceros.
   - ◦ Aplicaciones de procesos térmicos transitorios 1D. Caso Jominy
2. **Procesos de soldadura**
   - ◦ Descripción de procesos y clasificación de consumibles (6 hs)
     - ▪ Procesos SMAW, GMAW, FCAW, GTAW, SAW.
     - ▪ Metalurgia de la soldadura
     - ▪ Metalurgia de uniones soldadas, discontinuidades en soldadura.
   - ◦ Procedimientos de Soldadura
   - ◦ Metodología de calificación de procedimientos de soldadura
     - ▪ Metodología de calificación de soldadores/operadores de soldadura.
     - ▪ Códigos, Normas y Especificaciones sobre construcción e inspección de equipos soldados
     - ▪ Código ASME - Sección IX “Welding, Brazing and Fusing Qualifications”.

3. **Tratamientos Térmicos**

◦ Repaso de tratamientos térmicos, curvas de transformación, microestructura y cambios en propiedades de los materiales.

◦ Estudio del ensayo de Jominy, validación de curvas de enfriamiento del modelo transitorio obtenido en el Tema 1

◦ Evaluación y predicción de temple en pieza cilíndrica usando los resultados de Jominy. Generalización de resultados.

4. **Fundición**

Teoría de solidificación de metales

Tecnologías de fundición

◦ Fundición del molde perecedero

◦ Sistema de colada

◦ Fundición en molde permanente

◦ Hornos de fundición

5. **Conformación mecánica y mecanizado**

◦ Introducción a la conformación mecánica

◦ Conformación: Herramientas y tecnología / Laboratorio conformación

◦ Mecanizado: Introducción / herramientas

◦ Mecanizado: Herramientas / Planificación de procesos

◦ Mecanizado: Planificación de procesos / devolución lab conformación

◦ Mecanizado: Dimensiones y tolerancias

◦ Laboratorio de mecanizado

◦ Mecanizado: Operaciones y procesos / Lab mecanizado

6. Ensayos No destructivos (END)

◦ Inspección visual: Teoría. Norma UNIT-NM 315

◦ Líquidos penetrantes: Teoría. Norma UNIT-NM 334

◦ Partículas Magnetizables: Teoría. Norma UNIT-NM 342

◦ Ultrasonidos: Norma UNIT-NM 335

◦ Medición de espesores: Teoría. Norma UNIT-NM 16809

◦ Ultrasonidos en soldadura: Teoría. UNIT-NM 336

◦ Termografía industrial: Teoría. Norma ISO 10878, ISO 10880.

◦ Radiografía: Teoría. Norma UNIT-NM 314, UNIT-NM 5579

◦ Calificación de personal: Norma UNIT-NM 9712

6. BIBLIOGRAFÍA

Tema	Básica	Complementaria
1. Modelado Numérico	1,4	
2. Soldadura	1,2,3,6,7,8,9	16, 23
3. Tratamientos Térmicos	1,2,3,10	17, 18, 19, 20
4. Fundición	2,3,11	23
5. Conformación y mecanizado	12,13,14	23
6. Ensayos no destructivos	15	21, 22,23

6.1 Básica

1. Frank Incropera, David de Witt, “Fundamentals of Heat and Mass Transfer”, 9th ed, 2010
2. Serope Kalpakjian, Steven Schmid, Manufacturing Engineering & Technology, 2013
3. Mikell Groover, Fundamentals of modern manufacturing (1996)
4. Foster, Gregory L. Rorrer, and James R. Welty, Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer.
5. Günter Gottstein autor (2004, 1era edición). Physical Foundations of Materials Science. Alemania: Editorial Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
6. J. F. Lancaster autor (1980, 3era edición). Metallurgy of Welding. Holanda: Editorial Springer Dordrecht.
7. AWS, Welding Handbook - Welding Science and Technology
8. ASM - Metals Handbook chapter 6 Welding
9. Marques, Modenesi, Bracarense - Soldagem Fundamentos e Tecnología.
10. David A. Porter y Kenneth E. Easterling y Mohamed Y. Sherif autores (2022, 4ta edición). Phase Transformations in Metals and Alloys. EEUU: Editorial CRC Press, Taylor and Francis Group.
11. Doru Michael Stefanescu autor (2015, 3era edición). Science and Engineering of Casting and Solidification. Suiza: Editorial Springer Nature Switzerland.
12. Walsh, “Handbook of Machining and Metalworking Calculations”, 1ra, 2001, McGraw Hill.
13. Tschaetsch, “Metal Forming Practice”, 1ra, 2006, Springer.
14. Oberg, “Handbook of Machinery”, 30va, 2016, Industrial Press
15. Manuales de la Asociación Española de END

6.2 Complementaria

16. Guerra Machado - Soldagem & Técnicas conexas
17. Bruce L Bramfitt y Arlan O. Benscoter autores (2002, 1era edición). Metallographer's Guide, Practices and Procedures for Irons and Steels. EEUU: Editorial ASM International.
18. George E. Totten editor (2007, 2da edición). Steel Heat Treatment Handbook, Metallurgy and Technologies. EEUU: Editorial CRC Press, Taylor and Francis Group.
19. Jon L. Dossett (2020, 1era edición). Practical Heat Treating: Basic Principles. EEUU: Editorial ASM International.
20. Hans Warlimont y Werner Martienssen editores (2018, 2da edición). Springer Handbook of Materials Data. Suiza: Editorial Springer Nature Switzerland.
21. Horst Czichos y Tetsuya Saito y Leslie Smith editores (2011, 2da edición). Springer Handbook of Metrology and Testing. Alemania: Editorial Springer Verlag Berlin Heidelberg.
22. Norma European Standard EN 10083 Steels for Quenching and Tempering.
23. Norma European Standard EN 10052 Vocabulary of Heat Treatment Terms for Ferrous Products.

7. CONOCIMIENTOS PREVIOS EXIGIDOS Y RECOMENDADOS

7.1 Conocimientos Previos Exigidos: Conocimientos básicos de Álgebra Lineal, Física Térmica y Ciencia de Materiales.

7.2 Conocimientos Previos Recomendados: Comportamiento Mecánico de Materiales y Transferencia de Calor, Programación.

ANEXO A
Para todas las Carreras

A1) INSTITUTO

Instituto de Ensayo de Materiales

A2) CRONOGRAMA TENTATIVO

Semana 1	Introducción, Modelado Térmico, Transferencia de Calor
Semana 2	Introducción, Modelado Térmico, Transferencia de Calor
Semana 3	Soldadura
Semana 4	Soldadura
Semana 5	Soldadura
Semana 6	Tratamientos Térmicos
Semana 7	Tratamientos Térmicos
Semana 8	Fundición
Semana 9	Conformado
Semana 10	Mecanizado
Semana 11	Laboratorios demostrativos
Semana 12	Daño en metales
Semana 13	Daño en metales
Semana 14	Ensayos No Destructivos
Semana 15	Consulta y material adicional

A3) MODALIDAD DEL CURSO Y PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN

El desempeño de cada estudiante se cuantificará mediante 3 instancias de evaluación que juntas sumarán máximo 100 puntos de curso:

1. Primera prueba parcial escrita de 40 puntos de curso máximo. Se realizará entre la semana 7 y la semana 8 de clases. Evaluará conocimientos teórico-prácticos hasta el tema 7 incluido, sin profundizar en la práctica del diseño y análisis de tratamientos térmicos asociados al tema 7.

2. Tareas domiciliarias de entrega obligatoria denominadas Tareas Aplicadas en Metalurgia -TAMs-. Los estudiantes conformarán equipos de mínimo 2 y máximo 3 integrantes que deberán mantener durante el resto del curso. Las TAMs serán ejercicios integradores y/o profundizadores de conocimientos, buscando desarrollar habilidades básicas de análisis y diseño. Se deberá entregar un informe escrito por cada una que el cuerpo docente defina. La cantidad de TAMs que se fijará será como mínimo una de cada tema del curso, siendo obligatoria la entrega de toda TAM que se defina.

De la evaluación de todas las TAMs entregadas por un equipo de estudiantes, el cuerpo docente asignará un máximo de 20 puntos a cada equipo de estudiantes. Cada estudiante de un equipo obtendrá puntos de curso en la misma cantidad que su equipo recibió.

3. Segunda prueba parcial escrita de 40 puntos de curso máximo. Se realizará después de la semana 15. Evaluará conocimientos teórico-prácticos desde el tema 8 hasta el tema 14 inclusive.

Para cada estudiante, el resultado del curso se define de la siguiente manera:

- Exoneración de examen final: se debe obtener una cantidad mayor o igual a 60 puntos de curso, cumpliendo haber obtenido un mínimo de 10 puntos por las TAMs y un mínimo de 15 puntos en cada prueba parcial escrita. Este resultado implica la obtención de los créditos de la unidad curricular.
- Suficiencia en el curso (aprobación del curso): se debe obtener una cantidad mayor o igual a 30 puntos de curso, cumpliendo haber obtenido un mínimo de 10 puntos por las TAMs. Este resultado implica la habilitación a rendir un examen final durante 2 años o 3 instancias de examen. El examen final podrá desarrollarse como una prueba escrita teórico-práctica de 100 puntos máximo (aprobación con un mínimo de 60 puntos) o un examen oral. La aprobación del examen final implica la obtención de los créditos de la unidad curricular.
- Insuficiencia en el curso: no cumplir con la suficiencia en el curso da como resultado la reprobación del mismo, lo cual implica que el estudiante deba volver a cursar para intentar obtener los créditos de la unidad curricular.

A4) CALIDAD DE LIBRE

Esta unidad curricular no se accederá a la calidad de libre

A5) CUPOS DE LA UNIDAD CURRICULAR

Esta unidad curricular no tiene cupos mínimos ni máximos.

Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República - Julio Herrera y Reissig 565 - C.P. 11.300
Tel: (598) 2714 2714 - www.fing.edu.uy - Montevideo, Uruguay