



## Programa de METALURGIA FÍSICA

### 1. NOMBRE DE LA UNIDAD CURRICULAR

Metalurgia Física (código en Bedelía: 1719)

### 2. CRÉDITOS

12 créditos

### 3. OBJETIVOS DE LA UNIDAD CURRICULAR

Conocer, comprender y aplicar los fundamentos físicos de los materiales metálicos que se utilizan en ingeniería mecánica para el diseño, la fabricación, el uso y el mantenimiento de maquinaria, herramientas, estructuras o productos industriales, incluyendo conocimientos sobre tecnología de fabricación termo-mecánica de materiales metálicos utilizada en talleres mecánicos-metalúrgicos, y uso de normas de materiales y ensayos asociadas.

Para lograr los objetivos planteados, se espera que el o la estudiante que apruebe el curso, adquiera bases de metalurgia física sobre endurecimiento, recocido, solidificación, soldadura, formabilidad y fractura de materiales metálicos, para crear un diseño básico o análisis de un proceso metalúrgico de naturaleza termica, mecánica o termo-mecánica, que sea verificable por ensayos. Los propósitos de análisis y diseño de procesos pueden ser seleccionar materiales para diseño mecánico, fabricar componentes, construir o instalar sistemas, desarrollar o utilizar criterios de calidad para calificación de materiales o procedimientos, anticipar fallas en servicio o analizar fallas acontecidas. Se enfatizará que el o la estudiante aprenda a diseñar y analizar procesos de recocido, temple, revenido, soldadura, trabajado mecánico y fractura en aceros al carbono simples y levemente aleados debido a su relevancia e integración para continuar aprendiendo por su cuenta.

### 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 taller metalúrgico. Las horas presenciales se recomienda complementarlas aproximadamente con 6 horas semanales de dedicación individual, entre las cuales se dedicará esfuerzo a la entrega obligatoria de una o varias tareas domiciliarias denominadas Tareas Aplicadas en Metalurgia (TAMs), en formato de informes y hojas de cálculos, y en equipos de 3 integrantes máximo. Las TAMs serán actividades integradoras obligatorias. La evaluación del curso repartirá un total de 100 puntos entre 2 pruebas parciales escritas de 40 puntos máximo cada una y la nota final de 20 puntos máximo asociada al total del desempeño en las TAMs.

### 5. TEMARIO

A continuación se describirá el temario que se ideó para cumplir los objetivos de la unidad curricular. Entre paréntesis podrán verse palabras en inglés para vincular un término utilizado previamente con lenguaje científico considerado actual y universal.



1. Metalurgia física en la ingeniería mecánica: Abordaje a la metalurgia física como composición de mecánica y física térmica de materiales metálicos, y su vinculación intrínseca con la ingeniería mecánica a través de conceptos de diseño, fabricación, instalación, operación y mantenimiento de sistemas termomecánicos como lo son hojas de especificaciones, hojas de ruta, ensayos, calidad, normas, parámetros, estado límite, confiabilidad, daño, falla, integridad, vida residual, análisis de fallas y estandarización.

2. Introducción a procesos y propiedades: Introducción al Paradigma de la Ciencia e Ingeniería de Materiales -PCIM- como herramienta de análisis para vincular procesos, propiedades, composición y estructuras con desempeño en un material. Descripción analítica de la historia de un material metálico a través de secuencias de procesos, y de sus comportamientos frente a cargas a través de propiedades, destacando a las propiedades mecánicas y térmicas tanto básicas como tecnológicas. Introducción general a tecnología y procesos de fabricación mecánicos y/o térmicos para ajustar propiedades, atribuir geometría a volúmenes de material metálico o unirlos. Introducción a propiedades físicas y ensayos de un material, de un componente y de un sistema mecánico, definiendo a las propiedades mecánicas básicas y conceptos de distribución y direccionalidad de las mismas dentro de un volumen. Uso de diagramas de Ashby para comparar materiales.

3. Introducción a composición y estructuras: Definición de la composición química de un material metálico, de su medición, de su distribución en un volumen y de las estructuras posibles a todos los niveles de escala (nano, micro y macro). Introducción a metalografía (análisis estructural de materiales metálicos) a través de la definición de análisis microestructural y macroestructural por microscopía óptica y electrónica de barrido, preparación de muestras, revelación de estructuras, identificación de objetos estructurales básicos por morfología-tamaño-color, métodos de metalografía cuantitativa (estereología de tamaños de grano, áreas de fases y distribuciones de partículas) y conceptos de isotropía, anisotropía y segregación química. Introducción al uso de PCIM en problemas de análisis de calidad metalúrgica y análisis de fallas metalúrgicas .

4. Bases físicas para comprender procesos metalúrgicos: Definiciones de termodinámica y cinética, energía libre, fuerza motriz para una transformación, estabilidad, procesos termoactivados y Ley de Arrhenius. Introducción a transferencia de calor y propiedades térmicas. Definiciones de transferencia de masa por difusión, imperfecciones cristalinas (0D, 1D y 2D), discontinuidades, fases, interfases, diagramas de estructuras de equilibrio, transformaciones de fases y mezclas de fases. Introducción a deformación plástica, tensiones residuales y mecanismos de endurecimiento. Teoría de transformaciones difusionales fuera del equilibrio (modelo de nucleación y crecimiento) e integración con diagramas TTT (tiempo-temperatura-transformación). Introducción a procesos de Ostwald Ripening, esferoidización, recuperación, recristalización, crecimiento de grano, recocidos en general y modelos de Larson-Miller para procesos termoactivados.

5. Generalización de transformaciones metalúrgicas: Resumen integrador de transformaciones de fases y transformaciones de formación o destrucción de imperfecciones cristalinas. Definiciones de estado metalúrgico, de procesos térmicos y/o mecánicos, de tratamientos térmicos (heat treatments) de ablandamiento (softening) y de endurecimiento (hardening), y de productos metalúrgicos tipo placas, chapas y perfiles.



6. Aceros al carbono: Definiciones de aceros al carbono simples (plain carbon steels) y levemente aleados (low alloy carbon steels). Descripción analítica de las transformaciones de la austenita (ferríticas, perlíticas, bainíticas y martensíticas) y de las características de cada producto, destacando a la martensita de hierro. Introducción a endurecimiento por temple. Entendimiento de la descomposición térmica de aceros al carbono a través de los conceptos de revenido generalizado y de microestructuras límite tipo esferoidita. Resumen de estructuras y propiedades posibles en aceros al carbono.

7. Análisis y diseño de procesos térmicos de endurecimiento tipo temple y revenido (quench and temper) en aceros al carbono: Definiciones de templabilidad (hardenedability) según ensayo Jominy (end-quench test ISO 642), según diagramas CT y según Grossmann (ASTM A255). Estimaciones de curvas de templabilidad Jominy por composición. Definiciones de número de Biot, número de Grossmann -H value- y de redondo equivalente. Métodos analíticos para diseñar y analizar procesos: velocidad a 700°C, curvas de Lamont, modelados de temple y de revenido según la Universidad de Zagreb a base de cálculos de propiedades de aceros templados y revenidos, revenidos equivalentes según Grange y Baughman, cálculos de tiempos de meseta y de rampas de calentamiento y enfriamiento. Conocimientos sobre limitaciones por procesos de austenización y de disolución de carburos, fisuras de temple, tecnología de hornos, baños y fraguas, procesos de decarburización y oxidación seca, y tensiones de proceso. Conocimientos sobre procesos de endurecimiento superficial (case hardening) y usos.

8. Análisis y diseño de procesos térmicos de ablandamiento tipo recocido (annealing) en aceros al carbono: Definición y diferenciación entre recocidos "universales" (para todos los metales, recocido de recristalización por deformación plástica y recocido de alivio de tensiones residuales) y recocidos específicos para aceros por uso de procesos de austenización (normalizado, recocido completo -full annealing-, recocido de esferoidización -soft annealing-). Métodos analíticos para diseñar y analizar cada tipo de recocido frente diferentes situaciones. Uso integrador de normas EN 10083, ISO 898, EN 10052 para aplicar en componentes mecánicos hechos de aceros al carbono.

9. Aleaciones de aluminio forjado: Fundamentos físicos y usos de aluminios forjados (wrought aluminium alloys) endurecidos por procesos térmicos o por procesos mecánicos. Métodos analíticos para diseñar y analizar procesos térmicos de endurecimiento por temple y revenido (también dicho envejecimiento o age hardening), teniendo en cuenta limitaciones y ventajas junto a comparaciones con procesos y usos en aceros al carbono.

10. Análisis y diseño de procesos termomecánicos de solidificación (casting) y soldadura por fusión (fusion welding) de materiales metálicos: Fundamentos físicos sobre la transformación solidificación y análisis cualitativo de tendencias en características de las fases producto que pueden componer la micro y la macro estructura de un material metálico solidificado. Comprensión de las vulnerabilidades de un metal líquido y de la génesis de discontinuidades en productos solidificados, incluyendo impactos tecnológicos asociados. Usos de familias de procesos de soldadura. Condiciones para la espontaneidad y obtención de continuidad metalúrgica. Introducción a procesos de soldadura por fusión: características de fuentes de calor concentrado, análisis macro y



micro estructural, y análisis de distribuciones de temperatura para entender relaciones entre parámetros generales de proceso. Características de juntas soldadas, de procedimientos y de procesos convencionales. Conocimientos básicos para analizar y diseñar procesos de soldadura por arco eléctrico y electrodo revestido (SMAW) en aceros al carbono, incluyendo: cálculos de transferencia de metal, soldabilidad, precalentamiento y tratamientos térmicos. Identificación básica de defectos y de ensayos no destructivos.

11. Análisis y diseño de procesos termomecánicos con deformación plástica y formabilidad en materiales metálicos: Introducción a procesos de metalurgia mecánica como trabajados mecánicos (forming/metalworking) o mecanizados (machining), distinguiendo abordajes a la plasticidad desde la fabricación y desde el diseño mecánico. Fundamentos físicos de la plasticidad de materiales metálicos: características de tensiones y deformaciones plásticas verdaderas, conservación del volumen, criterios de fluencia, tensión efectiva para la deformación plástica, curvas de flujo, ensayos, influencia de la velocidad, la temperatura, la fricción y la anisotropía, definiciones de trabajado mecánico en frío y en caliente (coldworking y hotworking), estudio de fenómenos de inestabilidad plástica en tracción (necking) y conceptos de formabilidad límite de procesos mecánicos. Análisis y diseño de procesos monotónicos y proporcionales con aplicaciones industriales en trabajado mecánico de chapas y cuerpos (sheet y bulk metal forming, procesos de stretching, drawing, bending, stamping, upsetting, forging y rolling), incluyendo cálculos de fuerza formadora, formabilidad, endurecimiento y recocido. Cálculos básicos de tensiones Hertzianas dentro de cuerpos en contacto para diseño de requerimientos de dureza en herramientas como matricería de trabajado mecánico.

12. Aceros de alta aleación: Fundamentos físicos y usos de aceros para herramientas (tool steels) y de aceros inoxidable (stainless steels), integrando y ampliando la teoría vista de transformaciones asociadas a procesos de austenización, recocido, temple, revenido, precipitación y disolución de carburos en aceros al carbono junto a usos en soldaduras con los diagramas de Schaeffler y en matricería con los diagramas TTT.

13. Análisis y diseño de procesos mecánicos con fractura en materiales metálicos y cierre del curso: Definición de resistencia cohesiva teórica. Análisis de Inglis sobre la concentración de tensiones en fisuras. Teorías de Griffith, Orowan e Irwin sobre la energía de deformación liberada en el avance de una fisura. Análisis de tensiones y plasticidad en fisuras por mecánica de la fractura lineal elástica (parámetros K, modos de fractura y zona plástica). Conceptos esenciales sobre tenacidad K<sub>1C</sub>, tenacidad Charpy, temperatura de transición dúctil-frágil, y procesos de fatiga. Análisis y diseño básico de procesos de fractura monotónica, y de fractura por fatiga, incluyendo: evaluación de integridad mediante control de fractura frágil y sobrecarga por tamaño crítico de fisuras en diagrama FAD, criterio de diseño Leak Before Break, cálculos de vida a la fatiga con Ley de Paris y con Regla de Miner, y bases de fractografía y análisis de fallas. Conceptos de fractura por creep. Verificar el cumplimiento de los objetivos del curso, discutiendo, resumiendo e integrando partes del mismo para cerrar uso de aprendizajes en diseño, fabricación, uso y mantenimiento de maquinaria, herramientas, estructuras o productos industriales. Se presentarán al código ASME para Calderas y Recipientes a Presión y la norma API 579-1/ASME FFS (Fitness For Service) como ejemplos de aplicaciones.



## 6. BIBLIOGRAFÍA

| Tema   | Básica  | Complementaria |
|--|---|----------------|
| 1) Metalurgia física en la ingeniería mecánica   | (1) (2) (3) (4) (5) (6)                         | (25) (26) (27) |
| 2) Introducción a procesos y propiedades   | (1) (2) (4) (5) (6) (7)                         | (25) (26) (27) |
| 3) Introducción a composición y estructuras  | (1) (2) (4) (5) (7) (8)                         | (26) (27) (28) |
| 4) Bases físicas para comprender procesos metalúrgicos   | (1) (2) (4) (7) (8)                             | (26) (27)      |
| 5) Generalización de transformaciones metalúrgicas   | (1) (2) (4) (8) (9) (10)                        | (26) (27)      |
| 6) Aceros al carbono   | (1) (2) (4) (5) (9) (10)                        | (26) (27)      |
| 7) Análisis y diseño de procesos térmicos de endurecimiento tipo temple y revenido (quench and temper) en aceros al carbono                  | (1) (2) (4) (5) (9) (10)<br>(11) (12)           | (26) (27)      |
| 8) Análisis y diseño de procesos térmicos de ablandamiento tipo recocido (annealing) en aceros al carbono                                    | (1) (2) (4) (10) (11)<br>(12) (13) (14)         | (26) (27)      |
| 9) Aleaciones de aluminio forjado  | (1) (2) (4) (5) (9) (11)                        | (26)           |
| 10) Análisis y diseño de procesos termomecánicos de solidificación (casting) y soldadura por fusión (fusion welding) de materiales metálicos | (1) (2) (15) (16) (17)                          | (26) (27)      |
| 11) Análisis y diseño de procesos termomecánicos con deformación plástica y formabilidad en materiales metálicos                             | (1) (2) (18) (19) (20)                          | (26) (27)      |
| 12) Aceros de alta aleación  | (1) (2) (4) (10) (11)                           | (26) (27)      |
| 13) Análisis y diseño de procesos mecánicos con fractura en materiales metálicos y cierre del curso  | (1) (2) (19) (21) (22)<br>(3) (4) (5) (23) (24) | (26) (27)      |

Se priorizó el uso de bibliografía perteneciente a la editorial Springer tanto por su calidad académica como por su disponibilidad digital mediante el portal Timbó al año 2024, el cual permite que estudiantes de la Udelar accedan fácilmente a la misma.

### 6.1 Básica

1. Lecciones en el formato de notas teórico-prácticas y ejercicios, creadas por los docentes del curso, escritas en idioma español y actualizadas periódicamente. Este será el material de estudio principal, objeto de las evaluaciones.



El resto de la bibliografía que se presentará es la principal fuente que se utilizó para crear a (1) y servirá para señalar lecturas puntuales como parte de actividades de aprendizaje o practicar la extracción de información relevante para llevar a cabo aplicaciones, análisis y resoluciones.

2. R. E. Smallman y A. H. W. Ngan autores (2014, 8va edición). Modern Physical Metallurgy. Reino Unido: Editorial Butterworth-Heinemann.
3. George Ellwood Dieter autor (2013, 5ta edición). Engineering Design. EEUU: Editorial McGraw-Hill.
4. Karl Grote y Hamid Hefazi editores (2021, 2da edición). Springer Handbook of Mechanical Engineering. Suiza: Editorial Springer Nature Switzerland.
5. Hans Warlimont y Werner Martienssen editores (2018, 2da edición). Springer Handbook of Materials Data. Suiza: Editorial Springer Nature Switzerland.
6. Horst Czichos y Tetsuya Saito y Leslie Smith editores (2011, 2da edición). Springer Handbook of Metrology and Testing. Alemania: Editorial Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
7. Günter Gottstein autor (2004, 1era edición). Physical Foundations of Materials Science. Alemania: Editorial Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
8. Bruce L Bramfitt y Arlan O. Benschoter autores (2002, 1era edición). Metallographer's Guide, Practices and Procedures for Irons and Steels. EEUU: Editorial ASM International.
9. 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.
10. George E. Totten editor (2007, 2da edición). Steel Heat Treatment Handbook, Metallurgy and Technologies. EEUU: Editorial CRC Press, Taylor and Francis Group.
11. Jon L. Dossett autor (2020, 1era edición). Practical Heat Treating: Basic Principles. EEUU: Editorial ASM International.
12. Norma European Standard EN 10083 Steels for Quenching and Tempering.
13. Norma ISO 898 Mechanical Properties of Fasteners Made of Carbon Steel.
14. Norma European Standard EN 10052 Vocabulary of Heat Treatment Terms for Ferrous Products.
15. Doru Michael Stefanescu autor (2015, 3era edición). Science and Engineering of Casting and Solidification. Suiza: Editorial Springer Nature Switzerland.
16. J. F. Lancaster autor (1980, 3era edición). Metallurgy of Welding. Holanda: Editorial Springer Dordrecht.
17. Sindo Kou autor (2003, 2da edición). Welding Metallurgy. EEUU: Editorial Wiley Interscience.



18. William F. Hosford y Robert M. Caddell autores (2011, 4ta edición). Metal Forming, Mechanics and Metallurgy. EEUU: Editorial Cambridge University Press.
19. Amit Bhaduri autor (2018, 1era edición). Mechanical Properties and Working of Metals and Alloys. Singapur: Editorial Springer Nature Singapore.
20. Z. Marciniak y J. L. Duncan y S. J. Hu autores (2002, 2da edición). Mechanics of Sheet Metal Forming. Reino Unido: Editorial Butterworth-Heinemann.
21. Nestor Pérez autor (2017, 2da edición). Fracture Mechanics. Suiza: Editorial Springer Nature Switzerland.
22. Jorge Luis González Velázquez autor (2018, 1era edición). Fractography and Failure Analysis. Suiza: Editorial Springer Nature Switzerland.
23. Norma ASME Boiler and Pressure Vessel Code:2019.
24. Norma API 579-1/ASME FFS-1:2016 Fitness for Service.

## 6.2 Complementaria

25. Uday Shanker Dixit y Manjuri Hazarika y J.Paulo Davim autores (2017, 1era edición). A Brief History of Mechanical Engineering. Suiza: Editorial Springer Nature Switzerland.
26. George Ellwood Dieter autor (1988, 3era edición). Mechanical Metallurgy. Reino Unido: Editorial McGraw-Hill.
27. Hans Berns y Werner Theisen autores (2008, 1era edición). Ferrous Materials, Steel and Cast Iron. Alemania: Editorial Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
28. George F. Vander Voort editor (1986, 1era edición). Applied Metallography. EEUU: Editorial Springer New York.

## 7. CONOCIMIENTOS PREVIOS EXIGIDOS Y RECOMENDADOS

**7.1 Conocimientos Previos Exigidos:** Bases de Cálculo Diferencial, Álgebra Lineal, Comportamiento Mecánico de Materiales, Física Térmica y Ciencia de Materiales.

**7.2 Conocimientos Previos Recomendados:** -



## ANEXO A Para todas las Carreras

### A1) INSTITUTO

Instituto de Ensayo de Materiales (IEM / Departamento de Metales).

### A2) CRONOGRAMA TENTATIVO

Consiste en un cronograma de avance semanal con detalle de las horas de clase asignadas a cada tema.

|            |   |
|------------|---|
| Semana 1   | Tema 1 (4 hs de clase). Tema 2 (2 hs de clase).   |
| Semana 2   | Tema 2 (2 hs de clase). Tema 3 (4 hs de clase).   |
| Semana 3   | Tema 3 (2 hs de clase). Tema 4 (4 hs de clase).   |
| Semana 4   | Tema 4 (6 hs de clase).   |
| Semana 5   | Tema 4 (4 hs de clase). Tema 5 (2 hs de clase).   |
| Semana 6   | Tema 6 (4 hs de clase). Tema 7 (2 hs de clase).   |
| Semana 7   | Tema 7 (6 hs de clase).   |
| Evaluación | Receso por primeros parciales.  |
| Semana 8   | Tema 7 (6 hs de clase).   |
| Semana 9   | Tema 8 (4 hs de clase). Tema 9 (2 hs de clase). Comienzan TAMs.   |
| Semana 10  | Tema 10 (6 hs de clase).  |
| Semana 11  | Tema 10 (4 hs de clase). Tema 11 (2 hs de clase).   |
| Semana 12  | Tema 11 (6 hs de clase).  |
| Semana 13  | Tema 11 (6 hs de clase).  |
| Semana 14  | Tema 12 (2 hs de clase). Tema 13 (4 hs de clase).   |
| Semana 15  | Tema 13 (6 hs de clase).  |
| Evaluación | Receso por segundos parciales. La víspera del segundo parcial será la fecha final de entrega de TAMs.                         |
| Diciembre  | Terminado el curso, para la primera semana de diciembre se coordinarán 1 o 2 visitas a industrias sin asistencia obligatoria. |

### 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 desde el tema 1 hasta el tema 7 inclusive, por más que el tema 7 no se haya terminado de desarrollar y se siga tratando en la segunda parte del curso.
2. Tareas domiciliarias de entrega obligatoria denominadas Tareas Aplicadas en Metalurgia -TAMs-. Comenzarán a solicitarse a partir de la semana 9. 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 con su hoja de cálculos asociados adjunta por cada TAM que el cuerpo docente defina. La cantidad de TAMs que se fijará será mínimo 1 y máximo 3, 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. Dentro de las TAMs que se definan, siempre alguna de ellas tratará la práctica del diseño y análisis de tratamientos térmicos asociados a los temas 7, 8 y 9.

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 7 hasta el tema 13 inclusive, integrando las aplicaciones del curso entero.

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 se desarrollará generalmente como una prueba escrita teórico-práctica de 100 puntos máximo (aprobación con un mínimo de 60 puntos). 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 o la estudiante deba volver a cursar para intentar obtener los créditos de la unidad curricular.

#### **A4) CALIDAD DE LIBRE**

En esta unidad curricular no se accederá a la calidad de libre por las existencia de las TAMs.

#### **A5) CUPOS DE LA UNIDAD CURRICULAR**

Esta unidad curricular no tiene cupos mínimos ni máximos.

#### **B1) ÁREA DE FORMACIÓN**

Materiales y Diseño Mecánico dentro de las carreras de grado en Ingeniería Industrial Mecánica e Ingeniería Naval.



## **B2) UNIDADES CURRICULARES PREVIAS**

Curso:

- Cálculo Diferencial e Integral en Varias Variables (examen)
- Física Experimental 1 (examen)
- Física Térmica (examen)
- Introducción a la Ciencia de Materiales (curso)
- Comportamiento Mecánico de Materiales 1 (curso)

Examen:

- Metalurgia Física (curso)