

Introducción

Tal y como se indica en la Estructura del Plan de Estudios del Grado en Ingeniería de Materiales, la asignatura Laboratorio Integrado (6 ECTS) pertenece al Módulo de «Ciencia y Tecnología de los Materiales», el cual a su vez se incluye en la Materia «Materiales Estructurales». Esta asignatura se imparte durante el primer y segundo semestre del tercer curso y tiene carácter obligatorio.

Los contenidos del Laboratorio Integrado incluyen caracterización microestructural y mecánica; tratamientos térmicos, mecánicos y termomecánicos; procesado de materiales; análisis de fallos; ensayos de corrosión; ensayos no destructivos; nanotecnología estructural; y metodologías específicas de diseño, desarrollo y selección de materiales.

Los conocimientos previos necesarios más relevantes incluyen materiales metálicos, cerámicos, poliméricos y compuestos, procesamiento de materiales, comportamiento a la corrosión y conocimientos básicos de propiedades mecánicas. Por este motivo, se recomienda estar cursando o haber cursado las asignaturas Corrosión, degradación y protección de materiales, Materiales Metálicos y Procesado de Materiales.

Según Documentación de verificación de la titulación, los resultados del aprendizaje son:

- Aprender el funcionamiento y manejo del instrumental y de las normas de seguridad de los laboratorios de materiales.
- Aprender a caracterizar los materiales, determinar las propiedades que agregan valor tecnológico y a establecer relaciones entre la microestructura, el procesado y las propiedades.
- Adquirir habilidades en la interpretación, discusión de resultados y elaboración de informes científico/técnicos.
- Diseño, desarrollo y selección de materiales metálicos para aplicaciones específicas.
- Conocer las posibilidades y aplicaciones de los materiales estructurales.
- Aprender metodologías específicas de diseño, desarrollo y selección de materiales.

El programa de la asignatura, bibliografía, recursos en internet, metodología y criterios de evaluación se actualizan cada año en la correspondiente guía docente, publicada en <https://fisicas.ucm.es/guias-examen>.

La presente obra está estructurada en cuatro módulos, cada uno de ellos con un compendio de prácticas representativas. En cada práctica se incluyen las siguientes secciones:

- Introducción: proporciona los fundamentos teóricos necesarios para comprender la práctica y tener una visión global de su relevancia en el mundo profesional.
- Objetivos: en esta sección se enumeran de manera breve los objetivos de cada práctica.
- Parte experimental: se proporcionan con suficiente detalle los pasos a realizar en cada actividad y los datos a anotar para la posterior presentación de resultados.
- Información a incluir en el informe: lista con los elementos a incluir en el informe y su ponderación en la calificación.
- Anexo: en algunas prácticas se ha considerado necesario incluir esta sección para introducir procedimientos estandarizados (ej. medida de tamaño de grano, medida de adherencia, etc.).

A modo de resumen, se describen brevemente cada uno de los módulos y prácticas.

Módulo I (6 días). Materiales metálicos. Aleaciones férreas

Las aleaciones férreas, entre las que se incluyen aceros al carbono y fundiciones, constituyen los materiales metálicos estructurales por excelencia. En este módulo los estudiantes se familiarizan con los fundamentos de los tratamientos térmicos y cómo estos influyen en la microestructura y propiedades de estas aleaciones. También se presta atención a los efectos de la composición del material de partida y otros aspectos relevantes (ej. procesos de deformación, agrietamiento, mecanizado, etc.). Para comprender el origen de las diferentes microestructuras se hace uso de diagramas de fases y diagramas de enfriamiento continuo. Durante el desarrollo de las prácticas los estudiantes hacen uso de hornos, material de preparación metalográfica y microscopios ópticos.

Práctica 1. Tratamientos térmicos de aceros.

En esta práctica los estudiantes llevan a cabo tratamientos como normalizado, recocido, temple y revenido. Evalúan la dureza mediante ensayos

normalizados y correlacionan los valores obtenidos con las microestructuras observadas.

Práctica 2. Caracterización de aceros y fundiciones de hierro.

Esta experiencia está dividida en dos partes. En la primera de ellas, los estudiantes observan una colección de probetas de aceros que presentan motivos microestructurales no observados en la Práctica 1. Asimismo, se familiarizan con microestructuras que presentan algunos aceros especiales (ej. acero Hadfield). En la segunda parte, se observa una colección de fundiciones con los tipos más comunes (grises, dúctiles, blancas y maleables).

Módulo II (6 días). Materiales metálicos. Aleaciones no férricas

Las aleaciones de Cu, Al, Ti y Mg constituyen, tras las aleaciones férricas, el segundo grupo más importante de materiales metálicos estructurales. En el conjunto de prácticas que constituyen el Módulo II los estudiantes se familiarizan con sus microestructuras. Asimismo, observan el efecto de fenómenos como la recristalización y el envejecimiento. El equipamiento utilizado se asemeja al del Módulo I. Las prácticas de este módulo, junto con las del anterior, completan la formación de los estudiantes que han cursado la asignatura Materiales Metálicos.

Práctica 3. Acritud y recristalización.

La deformación y recristalización de materiales metálicos son dos fenómenos que afectan notablemente a las propiedades y microestructura de materiales metálicos. En esta experiencia los estudiantes parten de probetas de cobre deformadas y observan su evolución tras procesos de recristalización a diferentes temperaturas y tiempos. La práctica incluye medidas de dureza y observación mediante microscopía óptica.

Práctica 4. Endurecimiento por precipitación.

Las aleaciones de aluminio de forja tratables térmicamente son uno de los subconjuntos más importantes en ingeniería, ya que ofrecen una elevada resistencia específica. En el desarrollo de esta práctica los alumnos llevan a cabo las tres etapas fundamentales del proceso de endurecimiento por precipitación (solubilización, temple y envejecimiento). Además de seguir la evolución de las propiedades mecánicas, en esta práctica los estudiantes observan en el microscopio óptico probetas Al-Cu con diferentes tratamientos térmicos.

Práctica 5. Caracterización de aleaciones base Al.

Existen multitud de aleaciones de aluminio en el mercado. Por este motivo, en la práctica se incluyen una gran variedad de aleaciones comerciales (2024, 7075,

A356, etc.). Esto permite a los estudiantes distinguir los aspectos más diferenciadores de cada una de ellas, como son dendritas, granos equiaxiales, subgranos, dispersoides, compuestos intermetálicos, zonas libres de precipitado, etc.

Práctica 6. Caracterización de aleaciones base Cu.

En esta práctica se observan cobres y aleaciones de cobre no observadas previamente por los estudiantes. Destaca la inclusión de tres cobres «puros» aleados con As, Te y P, así como aleaciones representativas de los grupos de latones, bronces y cuproaluminios. La preparación superficial de estas probetas es más exigente que las observadas previamente, pero gracias a las habilidades adquiridas los estudiantes ya reúnen suficiente experiencia para afrontar satisfactoriamente la caracterización de estas aleaciones.

Práctica 7. Caracterización de aleaciones base Mg y base Ti.

Aunque su cuota de mercado es inferior a la de aceros, aluminios y cobres, las aleaciones de Mg y Ti cobran cada vez más importancia, especialmente en el sector transporte y en biomedicina. Es por este motivo que los estudiantes caracterizan durante esta práctica las aleaciones más relevantes de estos sistemas (ej. AZ91 y Ti6Al4V).

Módulo III (6 días). Corrosión y degradación

Los fenómenos de corrosión acarrear importantes pérdidas económicas, siendo fundamental dar la formación adecuada a los ingenieros e ingenieras de materiales. Por este motivo y con objeto de asentar los conocimientos adquiridos en la asignatura de Corrosión, Degradación y Protección de Materiales, el Módulo III está constituido por un conjunto de prácticas sencillas en las que los estudiantes ven en primera persona cómo se desarrollan los procesos de corrosión más comunes y cuáles son algunas de sus consecuencias.

Práctica 8. Fundamentos de corrosión.

En esta práctica los estudiantes realizan un conjunto de experiencias breves pero muy ilustrativas sobre aspectos termodinámicos de la corrosión. Conceptos como potencial de corrosión, corrosión galvánica, pilas de aireación diferencial y pilas de concentración son asimilados gracias al empleo de diferentes materiales metálicos (cobre, aluminio, acero, magnesio, etc.) y equipamiento sencillo (ej. material de vidrio, voltímetro).

Práctica 9. Ensayos electroquímicos: resistencia de polarización y método Tafel.

Una vez vistos los aspectos termodinámicos en la práctica anterior, los estudiantes adquieren habilidades en el contexto de ensayos electroquímicos para

familiarizarse con los aspectos cinéticos de la corrosión. Se hace uso en este caso de *software* comúnmente utilizado con potenciostatos y se llevan a cabo una serie de actividades de simulación siguiendo las instrucciones recogidas en un tutorial.

Práctica 10. Oxidación directa.

La corrosión electroquímica habitualmente ocurre a temperatura ambiente o por debajo del punto de ebullición del agua, pero igualmente importante es la corrosión a alta temperatura y que afecta de manera significativa en los sectores industrial y energético. Durante esta práctica los estudiantes observan la influencia notable de la temperatura en la oxidación de aceros al carbono y aprenden a llevar a cabo un proceso de decapado para obtener la cinética de corrosión.

Práctica 11. Corrosión por picadura.

Los fenómenos de corrosión localizada son comunes en materiales pasivos como los aceros inoxidables. En esta práctica sencilla, los estudiantes se familiarizan con el protocolo de normativa establecida para evaluar la susceptibilidad a este tipo de ataque.

Práctica 12. Corrosión en resquicio.

Esta práctica sigue una metodología similar a la de la Práctica 11, pero en este caso se introduce un resquicio artificial en la muestra. Esta práctica permite evidenciar de forma muy sencilla la severidad del ataque por corrosión en resquicio.

Práctica 13. Ensayos electroquímicos: polarización cíclica.

Esta práctica complementa a las prácticas 9 y 11. Los alumnos se enfrentan en esta práctica a la representación e interpretación de curvas de polarización cíclica de distintos materiales pasivos.

Práctica 14. Corrosión intergranular.

En aceros inoxidables es posible observar en ocasiones corrosión a lo largo de los límites de grano. En este caso es frecuente recurrir a la norma ASTM A262 para evaluar la susceptibilidad a este tipo de fallo. Es precisamente esta norma la que consultan y siguen los estudiantes para evaluar el efecto de tratamientos térmicos en la corrosión intergranular de un acero inoxidable. Entre los objetivos de la práctica se encuentra la construcción de un diagrama Temperatura-Tiempo-Solubilización.

Práctica 15. Protección catódica.

En estructuras metálicas enterradas y sumergidas, así como aquellas integradas en hormigón, es común recurrir a los sistemas de protección catódica.

En esta práctica se realizan un conjunto de tres experimentos que permiten evaluar en un grado de complejidad creciente los efectos de la protección catódica y de la presencia de corrientes vagabundas.

Práctica 16. Análisis de fallos.

Es una de las prácticas donde la creatividad y análisis crítico de los estudiantes alcanza su mayor expresión. Asimismo, permite a los docentes plantear innumerables opciones de resolución de casos. Para llevar a cabo esta práctica, los estudiantes se enfrentan a distintas piezas o casos prácticos procedentes de aplicaciones reales. La elaboración de preguntas y la búsqueda bibliográfica son de los aspectos más relevantes de esta actividad.

Módulo IV (6 días). Procesamiento de materiales

El procesamiento de materiales suele consistir en múltiples etapas, siendo necesario el empleo de maquinaria compleja y frecuentemente bajo condiciones extremas (ej. alta temperatura, medios agresivos, etc.). Con objeto de minimizar la inversión de capital y riesgos innecesarios, en este módulo se han seleccionado prácticas de fácil realización, pero que al mismo tiempo representen muy bien ejemplos de procesos comunes en la industria.

Práctica 17. Introducción a ensayos no destructivos.

Los ensayos no destructivos son muy variados y están presentes en muchos sectores productivos. En esta práctica los alumnos se familiarizan con tres técnicas: radiografías, líquidos penetrantes y partículas magnéticas. Las muestras a observar forman parte de una colección de soldaduras con defectos perfectamente clasificados, lo que permite a los estudiantes reconocer los distintos tipos con facilidad.

Práctica 18. Inspección por ultrasonidos.

La inspección por ultrasonidos abarca gran variedad de metodologías. En esta práctica los estudiantes trabajan con aquellas más extendidas y que son la medición de espesores y el empleo de un equipo con barrido tipo A. Durante la práctica comienzan con muestras sencillas y defectología conocida para posteriormente inspeccionar piezas con defectos ocultos a simple vista.

Práctica 19. Cementación del acero.

La carburación es una de las formas más sencillas de obtener aceros con excelentes propiedades superficiales. En esta práctica, los estudiantes llevan a cabo un procedimiento de cementación sólida para posteriormente evaluar su microestructura y dureza. La experiencia adquirida en módulos previos

permite a los estudiantes trabajar prácticamente de manera autónoma durante el desarrollo de esta práctica.

Práctica 20. Ensayo Jominy.

La templabilidad de aceros es uno de los parámetros más utilizados en el diseño de piezas sometidas a desgaste. Mediante este sencillo ensayo los estudiantes aprenden a correlacionar muchos de los conceptos vistos previamente en otras prácticas con aceros. Entre las actividades de esta práctica se encuentra la determinación del diámetro crítico y el análisis microestructural en función de la velocidad de enfriamiento.

Práctica 21. Moldeo en arena y coquilla de aleaciones Al-Si.

Se trata de una de las prácticas más interesantes. Se realiza el moldeo de una aleación Al-Si, lo que permite visualizar las etapas del moldeo y la importancia del correcto diseño del molde. La práctica se complementa con la caracterización de defectos típicos de moldeo. En el desarrollo de esta práctica se ha contado con la colaboración de la Prof.^a Belén Torres de la Universidad Rey Juan Carlos.

Práctica 22. Niquelado y cobreado.

Los recubrimientos metálicos por electrodeposición tienen múltiples aplicaciones y generalmente consisten en la combinación de capas de cobre, níquel y cromo. En este caso, los estudiantes evalúan tanto el niquelado y cobreado en términos de rendimiento, porosidad y adherencia.

Práctica 23. Anodizado y coloreado.

El anodizado del aluminio representa uno de los tratamientos superficiales más extendidos. En esta experiencia los estudiantes comparan distintas piezas de aluminio que han sido anodizadas, selladas y/o coloreadas. La práctica incluye ensayos de corrosión y cálculos para determinar la eficiencia del proceso.

Finalmente, y con objeto de ayudar tanto a estudiantes como a los profesores, el manual incluye varias secciones con material adicional:

- Colecciones de aleaciones: se trata de micrografías, descripciones y diagramas de fases necesarios para entender más fácilmente la mayoría de probetas que los estudiantes observan durante el desarrollo de los Módulos I y II. Se trata de aceros, fundiciones y aleaciones de aluminio, magnesio y titanio. En todos los casos las muestras han sido

seleccionadas por presentar microestructuras características de aleaciones comerciales. La información recogida en este apartado procede del Proyecto de Innovación Docente recogido en la página <https://www.ucm.es/atlasmetalografico/> (Proyecto n.º 21, Innova-Docencia UCM 2016/2017).

- Preguntas de repaso: se trata de cuestiones para que los estudiantes evalúen de forma autónoma su proceso de aprendizaje, enfrentándose a preguntas similares a las que se realizan en los exámenes de la asignatura. Estas preguntas sirven también para que los profesores identifiquen los contenidos más relevantes en cada una de las prácticas.
- Bibliografía: listado de referencias bibliográficas incluidas en las diferentes prácticas de la asignatura. Son en su mayoría artículos científicos recientes y de acceso abierto. También se encuentran ejemplos de normas y *handbooks* relevantes.
- Otros recursos: listado de recursos para profundizar en algunos aspectos de la asignatura. En esta lista se proporciona una breve descripción del recurso y su ubicación. Este material puede ser relevante tanto para estudiantes como profesorado.
- Glosario: listado de términos más relevantes de la asignatura y página en la que tienen una mayor importancia.