

## 60033 - Física de materiales magnéticos

### Información del Plan Docente

**Año académico:** 2023/24

**Asignatura:** 60033 - Física de materiales magnéticos

**Centro académico:** 100 - Facultad de Ciencias

**Titulación:** 538 - Máster Universitario en Física y Tecnologías Físicas  
589 - Máster Universitario en Física y Tecnologías Físicas

**Créditos:** 5.0

**Curso:** 1

**Periodo de impartición:** Segundo semestre

**Clase de asignatura:** Optativa

**Materia:**

### 1. Información básica de la asignatura

El curso de Física de Materiales Magnéticos se dirige a cualquier estudiante con interés en aprender magnetismo más allá de los libros de texto de Física del Estado Sólido hacia fenómenos y aplicaciones más avanzados y fascinantes. El estudiante repasará la teoría cuántica del magnetismo, modelos teóricos básicos y técnicas experimentales para caracterizar y cuantificar el comportamiento magnético de los sistemas reales. Esto supondrá una base muy sólida en esta área de la Física de la Materia Condensada que está evolucionando muy rápidamente hacia una investigación muy activa en espintrónica y fenómenos de dependientes del espín. Al final del curso, el alumno debe ser capaz de utilizar y aplicar algunos de estos conceptos y técnicas a problemas científicos y prácticos reales de su interés.

Junto con los cursos sobre "Ciencia de Materiales", "Física Estadística de Fenómenos Críticos y Sistemas Complejos", "Nanociencia y Nanotecnología", "Teoría Cuántica de la Materia Condensada" y "Física de Bajas Temperaturas y Tecnologías Cuánticas", este curso representa una introducción muy complementaria y profunda a los conceptos, herramientas experimentales y aplicaciones de la investigación en Física de la Materia Condensada moderna y los nuevos materiales.

Estos planteamientos y objetivos están alineados con los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de Naciones Unidas (<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>), de tal manera que la adquisición de los resultados de aprendizaje de la asignatura proporciona capacitación y competencia para contribuir en cierta medida a su logro: ODS 4 Educación de calidad.

### 2. Resultados de aprendizaje

Estamos siendo testigos de la aparición de fenómenos de dependientes del espín y aplicaciones relacionadas basadas en los conceptos, técnicas experimentales y materiales que se cubren en este curso. Estos fenómenos también están en la base de prometedoras tecnologías en diversas áreas que incluyen: tecnología de la información (espintrónica), aplicaciones biomédicas (MRI, nanopartículas magnéticas) y conversión y almacenamiento de energía (espín-caloritronica) coexistentes con las aplicaciones más establecidas del mercado de consumo. Un conocimiento profundo del magnetismo cuántico y la física de los materiales magnéticos proporcionarán al estudiante los conocimientos teóricos y experimentales para ayudarle a ir más allá de lo puramente académico hacia campos de investigación muy activos y actuales en Física de la Materia Condensada.

El estudiante es capaz de calcular la susceptibilidad magnética del gas de electrones libres (paramagnetismo de Pauli y diamagnetismo de Landau) y de un sistema de momentos localizados (Brillouin).

El estudiante es capaz de obtener el hamiltoniano a un ion en un entorno cristalino y determinar el desdoblamiento por campo cristalino.

El estudiante es capaz de identificar las interacciones de intercambio más comunes (Heisenberg, RKKY, superintercambio, Hubbard).

El estudiante es capaz de derivar varios modelos de ferromagnetismo y calcular el espectro de ondas de spin. El estudiante es capaz de calcular el tamaño típico de un dominio magnético y el ancho de la pared de dominio magnética.

El estudiante es capaz de determinar experimentalmente diferentes propiedades magnéticas mediante el uso de técnicas macroscópicas (p.ej. VSM) o microscópica (p.ej., la microscopía Lorentz).

### 3. Programa de la asignatura

## 1. INTRODUCCIÓN

## 2. DIAMAGNETISMO. PARAMAGNETISMO

- 2.1. Momento magnético en mecánica cuántica.
- 2.2. Diamagnetismo orbital
- 2.3. Paramagnetismo de Pauli
- 2.4. Diamagnetismo de Landau
- 2.5. Paramagnetismo: teoría de Brillouin
- 2.6. Paramagnetismo de Van Vleck
- 2.7. Desimanación adiabática

## 3. IONES EN SÓLIDOS: CAMPO ELÉCTRICO CRISTALINO

- 3.1. Campo cristalino
- 3.2. Anisotropía a un ion: operadores de Stevens
- 3.3. Teorema de Kramers. Efecto Jahn-Teller
- 3.4. Hamiltoniano de espín

## 4. INTERACCIONES DE INTERCAMBIO

- 4.1. Interacción de intercambio: hamiltoniano de Heisenberg
- 4.2. Intercambio en aislantes: superintercambio, doble intercambio
- 4.3. Intercambio en metales: intercambio directo, RKKY
- 4.4. Impurezas: efecto Kondo
- 4.5. El modelo de Hubbard

## 5. FERROMAGNETISMO. OTROS ORDENAMIENTOS MAGNÉTICOS

- 5.1. Teoría de campo medio: ley de Curie-Weiss
- 5.2. Ferromagnetismo en metales: modelo de Stoner
- 5.3. Excitaciones colectivas: ondas de espín. Magnones
- 5.4. Teoría de campo medio
- 5.5. Ondas de espín antiferromagnéticas
- 5.6. Ferrimagnetismo
- 5.7. Vidrios de espín

## 6. ANISOTROPIA MAGNÉTICA

- 6.1. Anisotropía de forma
- 6.2. Anisotropía magnetocristalina
- 6.3. Anisotropía de canje
- 6.4. Dominios magnéticos

## 7. MATERIALES MAGNÉTICOS Y APLICACIONES

- 7.1. Aplicaciones de los imanes duros
- 7.2. Aplicaciones de los imanes blandos
- 7.3. Propiedades de magnetotransporte de materiales magnéticos
- 7.4. Sensores magnéticos
- 7.5. Electrónica de espín y grabación magnética

## **4. Actividades académicas**

Clases magistrales en los principales temas de la asignatura.

Sesiones prácticas de laboratorio. El estudiante llevará a cabo los experimentos y preparará un informe escrito con los resultados obtenidos.

Trabajo individual: Presentación por escrito y oral de un tema de actualidad en magnetismo.

Las actividades docentes y de evaluación se llevarán a cabo de modo presencial según el calendario aprobado por la Junta de Facultad.

## 5. Sistema de evaluación

La evaluación continua tendrá en cuenta el trabajo personal de los estudiantes durante todo el curso. Los estudiantes contestarán a lo largo del curso cuestionarios correspondientes a las diferentes secciones del curso y un tema seleccionado que será preparado autónomamente por el estudiante y presentado en clase. La evaluación (70% de la nota final) reflejará la calidad de las soluciones dadas en los cuestionarios y la presentación oral.

El curso también constará de tres sesiones prácticas en el laboratorio. Después de estas sesiones el estudiante entregará un informe escrito sobre cada una incluyendo los objetivos y los resultados obtenidos. La evaluación de estos informes será el 30% de la nota final.

Superación de la asignatura mediante una prueba global única:

El curso ha sido diseñado principalmente para que los estudiantes asistan a las clases de modo habitual y continuado. Sin embargo, también habrá una prueba de evaluación para los estudiantes que no pueden asistir a las clases o que no superan la evaluación. La prueba consistirá en la resolución de un cuestionario que evaluará los resultados esperados del curso.

El cuestionario estará compuesto por las dos partes siguientes:

1. Una parte contendrá preguntas relacionadas con los principales conceptos tratados en el curso. El estudiante dispondrá de tres horas para resolver esta parte. Se evaluará de 0 a 10 y el resultado contará el 70% de la nota final.
2. Un ejercicio práctico en el que se le pedirá al estudiante que describa los elementos y la configuración de un montaje experimental adecuado para medir una determinada propiedad magnética de un material determinado. A continuación, se le pedirá al estudiante que haga una prueba práctica en el laboratorio. Tiempo asignado: tres horas máximo. Se evaluará de 0 a 10 y el resultado supondrá el 30% de la nota final.