

## 60033 - Física de materiales magnéticos

### Información del Plan Docente

**Año académico:** 2021/22

**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

### 1.1. Objetivos de la asignatura

**La asignatura y sus resultados previstos responden a los siguientes planteamientos y objetivos:**

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.

### 1.2. Contexto y sentido de la asignatura en la titulación

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.

### 1.3. Recomendaciones para cursar la asignatura

Este curso describe los principales fenómenos y métodos experimentales relacionados con el campo del magnetismo y los materiales magnéticos. Se hace énfasis en la teoría cuántica del magnetismo y en propiedades relacionadas, de interés en aplicaciones tecnológicas. Se recomienda que los estudiantes tengan una formación sólida previa en Física Cuántica, Física Estadística y Física del Estado Sólido. Otros cursos del Máster complementarios a éste son "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".

## 2. Competencias y resultados de aprendizaje

### 2.1. Competencias

**Al superar la asignatura, el estudiante será más competente para:**

- Consolidar los conocimientos avanzados y la interrelación entre los diversos campos de la Física y las Tecnología Físicas (CE3).
- Integrar conocimientos, enfrentarse a la complejidad y formular juicios con información limitada en el ámbito de la Física y de sus Tecnologías (CE4).
- Profundizar en el análisis, tratamiento e interpretación de datos experimentales (CE5).
- Comprender la descripción cuántica del magnetismo: gas de electrones y momento atómico del átomo.

- Entender las diferentes interacciones magnéticas en los sólidos y la aparición del orden magnético cooperativo.
- Conocer los diferentes tipos de ordenamiento en sólidos: ferro, ferri y antiferromagnetismo.
- Entender el concepto y origen de la anisotropía magnética.
- Entender aspectos dinámicos del magnetismo.
- Conocer las principales técnicas experimentales en magnetismo, las principales familias de materiales magnéticos y sus aplicaciones.

## 2.2. Resultados de aprendizaje

**El estudiante, para superar esta asignatura, deberá demostrar los siguientes resultados:**

- 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).
- El estudiante es capaz de aplicar todos los conceptos para racionalizar y clasificar los diferentes materiales magnéticos más comunes por su fenomenología y sus aplicaciones tecnológicas.

## 2.3. Importancia de los resultados de aprendizaje

Estamos siendo testigos de la aparición de fenómenos 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 ayudarlo a ir más allá de lo puramente académico hacia campos de investigación muy activos y actuales en Física de la Materia Condensada.

# 3. Evaluación

## 3.1. Tipo de pruebas y su valor sobre la nota final y criterios de evaluación para cada prueba

**El estudiante deberá demostrar que ha alcanzado los resultados de aprendizaje previstos mediante las siguientes actividades 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.

## 4. Metodología, actividades de aprendizaje, programa y recursos

### 4.1. Presentación metodológica general

El proceso de aprendizaje que se ha diseñado para esta asignatura se basa en lo siguiente:

Los resultados programados para este curso incluyen el logro de conocimientos teóricos y experimentales en el campo del magnetismo y los materiales magnéticos. Para obtener estos resultados, hemos programado actividades que mejoren la implicación activa y continua de los estudiantes dentro de los diferentes temas. El curso consta de dos acciones formativas distintas: clases teóricas (4 ECTS); trabajo en el laboratorio y elaboración de informes (1 ECTS). Estas actividades permitirán que el alumno adquiera el conocimiento deseado sobre los diversos temas y competencia experimental en magnetismo moderno.

### 4.2. Actividades de aprendizaje

El programa que se ofrece al estudiante para ayudarle a lograr los resultados previstos comprende las siguientes actividades:

- Clases magistrales en los principales temas de la asignatura:
- Sesiones prácticas de laboratorio. El estudiante llevará a cabo el experimento y preparará un informe escrito con los resultados obtenidos.

*Las actividades docentes y de evaluación se llevarán a cabo de modo presencial salvo que, debido a la situación sanitaria, las disposiciones emitidas por las autoridades competentes y por la Universidad de Zaragoza obliguen a realizarlas de forma telemática o semi-telemática con aforos reducidos rotatorios.*

### 4.3. Programa

Clases magistrales:

1. INTRODUCCIÓN
2. DIAMAGNETISMO. PARAMAGNETISMO
  1. Momento magnético en mecánica cuántica.
  2. Diamagnetismo orbital
  3. Paramagnetismo de Pauli
  4. Diamagnetismo de Landau
  5. Paramagnetismo: teoría de Brillouin
  6. Paramagnetismo de Van Vleck
  7. Desimanación adiabática
4. IONES EN SÓLIDOS: CAMPO ELÉCTRICO CRISTALINO
  1. Campo cristalino
  2. Anisotropía a un ion: operadores de Stevens
  3. Teorema de Kramers. Efecto Jahn-Teller
  4. Hamiltoniano de espín
6. INTERACCIONES DE INTERCAMBIO
  1. Interacción de intercambio: hamiltoniano de Heisenberg
  2. Intercambio en aislantes: superintercambio, intercambio antisimétrico
  3. Intercambio en metales: intercambio directo, RKKY y doble intercambio
  4. Impurezas: efecto Kondo
  5. El modelo de Hubbard
8. FERROMAGNETISMO. OTROS ORDENAMIENTOS MAGNÉTICOS
  1. Teoría de campo medio: ley de Curie-Weiss
  2. Ferromagnetismo en metales: modelo de Stoner
  3. Excitaciones colectivas: ondas de espín. Magnones
  4. Teoría de campo medio
  5. Ondas de espín antiferromagnéticas
  6. Ferrimagnetismo
  7. Vidrios de espín
10. ANISOTROPÍA MAGNÉTICA

1. Anisotropía de forma
  2. Anisotropía magnetocristalina
  3. Anisotropía de canje
  4. Dominios magnéticos
12. MATERIALES MAGNÉTICOS Y APLICACIONES
1. Aplicaciones de los imanes duros
  2. Aplicaciones de los imanes blandos
  3. Propiedades de magnetotransporte de materiales magnéticos
  4. Sensores magnéticos
  5. Electrónica de espín y grabación magnética

**Experimentos en laboratorio:**

1. Dependencia con la temperatura y campo de la magnetización con un SQUID.
2. Anisotropía magnética con un VSM.
3. Observación de las paredes de dominio magnético mediante microscopía Lorentz.

#### **4.4. Planificación de las actividades de aprendizaje y calendario de fechas clave**

**Calendario de sesiones presenciales y presentación de trabajos**

El calendario final tiene que ser establecido. Se anunciará con antelación.

Las clases se iniciarán y terminarán en la fecha indicada por la Facultad de Ciencias.

- Clases: 4 sesiones / semana. Fechas a decidir.
- Prácticas de laboratorio: Se fijarán por el profesor al inicio del curso.
- Sesiones de evaluación: A decidir.

#### **4.5. Bibliografía y recursos recomendados**

LA BIBLIOGRAFÍA ACTUALIZADA DE LA ASIGNATURA SE CONSULTA A TRAVÉS DE LA PÁGINA WEB DE LA BIBLIOTECA [http://biblos.unizar.es/br/br\\_citas.php?codigo=60033&year=2019](http://biblos.unizar.es/br/br_citas.php?codigo=60033&year=2019)