

MÓDULO	MATERIA	CURSO	SEMESTRE	CRÉDITOS	TIPO
ELECTRODINÁMICA Y NANOELECTRÓNICA	NANOELECTRÓNICA	4º	2º	6	Optativa
PROFESOR			DIRECCIÓN COMPLETA DE CONTACTO PARA TUTORÍAS		
<ul style="list-style-type: none"> • ANDRÉS GODOY MEDINA 			Dpto. Electrónica y Tecnología de Computadores. Facultad de Ciencias. Despacho nº 16. Tfno. 958243227. Correo electrónico: agodoy at ugr.es		
			HORARIO DE TUTORÍAS		
			Lunes y martes de 10 a 12h. Jueves de 11 a 13h		
GRADO EN EL QUE SE IMPARTE			OTROS GRADOS A LOS QUE SE PODRÍA OFERTAR		
Grado en Física					
PRERREQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES (si procede)					
Para poder cursar esta asignatura, se recomienda que el alumno haya superado las materias: Electromagnetismo, Física Cuántica, Física Estadística y Física del Estado Sólido.					
BREVE DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS (SEGÚN MEMORIA DE VERIFICACIÓN DEL GRADO)					
Estados electrónicos en nanoestructuras semiconductoras: métodos de masa efectiva y de ligaduras fuertes (Tight Binding). Sistemas electrónicos de dimensionalidad reducida: pozos cuánticos, hilos cuánticos y puntos cuánticos. Transporte de carga en sistemas basados en nanoestructuras. Dispositivos electrónicos relevantes basados en nanoestructuras: Transistores de hilo cuántico, single electron transistor. Memorias semiconductoras. Termoelectricidad.					
COMPETENCIAS GENERALES Y ESPECÍFICAS					
<ul style="list-style-type: none"> • Competencias Generales: CT1: Capacidad de análisis y síntesis CT2: Capacidad de organización y planificación CT5: Capacidad de gestión de la información 					



CT6: Resolución de problemas

CT8: Razonamiento crítico

CT9: Aprendizaje autónomo

• Competencias Específicas de la Asignatura:

CE1: Conocer y comprender los fenómenos y las teorías físicas más importantes.

CE2: Estimar órdenes de magnitud para interpretar fenómenos diversos.

CE4: Medir, interpretar y diseñar experiencias en el laboratorio o en el entorno.

CE5: Modelar fenómenos complejos, trasladando un problema físico al lenguaje matemático.

CE7: Transmitir conocimientos de forma clara tanto en ámbitos docentes como no docentes.

CE9: Aplicar los conocimientos matemáticos en el contexto general de la física.

OBJETIVOS (EXPRESADOS COMO RESULTADOS ESPERABLES DE LA ENSEÑANZA)

El alumno adquirirá:

- Capacidad de análisis y síntesis.
- Habilidad para la resolución de problemas.
- Razonamiento crítico.
- Creatividad.
- Iniciativa y espíritu emprendedor.

El alumno sabrá / comprenderá:

- Las bases físicas que rigen la electrostática y el transporte de carga en nanodispositivos electrónicos.
- Las escalas y órdenes de magnitud propios de la nanoelectrónica.
- Las diferencias entre transporte balístico y difusivo.
- Las características de los sistemas electrónicos confinados en una, dos o tres dimensiones.

El alumno será capaz de:

- Comparar datos experimentales con modelos físicos disponibles para revisar su validez y sugerir cambios con objeto de mejorar la concordancia de los modelos con los datos.
- Iniciarse en nuevos campos y materias de la nanoelectrónica a través de su trabajo independiente.
- Realizar las aproximaciones requeridas con objeto de reducir la complejidad del problema hasta un nivel manejable.
- Desarrollar sus propios modelos numéricos para la simulación de nanodispositivos electrónicos.

TEMARIO DETALLADO DE LA ASIGNATURA

TEMARIO TEÓRICO:

Tema 1. The quantum particle

1.1 The motivation for nanoelectronics, device scaling

1.2 Review of waves, phase and interference, wavefunctions

1.3 Wavepackets and operators

1.4 Momentum, energy and the uncertainty principle

1.5 Schrödinger equation, particle in a box

1.6 Piecewise potentials, tunneling

Tema 2. The Quantum Particle

2.1 Fermi statistics, current, metals and insulators



- 2.2 Density of states, periodic boundary conditions
- 2.3 Density of states in 0-d to 3-d structures
- Tema 3. Two Terminal Quantum Dot Devices
 - 3.1 Equilibrium in two terminal molecular devices
 - 3.2 Capacitance models of electrostatics
 - 3.3 Current flow under bias in two terminal molecular devices
 - 3.4 Charging
- Tema 4. Two Terminal Quantum Wire Devices
 - 4.1 Current flow in quantum wires, the quantum limit of conductance
 - 4.2 Landauer theory
 - 4.3 Ohm's law and the Drude model
- Tema 5. Field Effect Transistors
 - 5.1 Field effect transistors (FETs)
 - 5.2 Ballistic quantum wire FETs
 - 5.3 Ballistic quantum well FETs
 - 5.4 Conventional MOSFETs
- Tema 6. The Electronic Structure of Materials Devices
 - 6.1 Hybrid orbitals, introduction to tight binding
 - 6.2 Examples of tight binding calculations
 - 6.3 Periodic materials, Bloch functions
 - 6.4 Semiconductors and insulators
 - 6.5 Tight binding in periodic materials
 - 6.6 Carbon nanotubes
- Tema 7. Semiconductor memoriesFlash
 - 7.2 Dynamic Random Access Memory (DRAM)
 - 7.3 Static Random Access Memory (SRAM)
- Tema 8. Fundamental Limits in Computation
 - 8.1 CMOS, power delay product and scaling
 - 8.2 Review of CMOS
 - 8.3 Thermodynamic limits and reversible computing

TEMARIO PRÁCTICO:

Seminarios/Talleres

- Numerical methods for self-consistent IV calculations
- MATLAB®

Prácticas de Laboratorio

- Práctica 1: Fourier transforms. Wavepacket propagation.
- Práctica 2: Definition of group velocity and dispersion relation. Fermi statistics.
- Práctica 3: Capacitors. Small signal models of metal-molecule junctions.
- Práctica 4: Tight binding definitions. Hydrogen atom.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA FUNDAMENTAL:

- Marc Baldo. "Introduction to Nanoelectronics", http://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-701-introduction-to-nanoelectronics-spring-2010/readings/MIT6_701S10_front.pdf
- Electronics from the Bottom Up: A New Approach to Nanoelectronic Devices and Materials



<http://nanohub.org/topics/ElectronicsFromTheBottomUp>

- V. V. Mitin, .V.A. Kochelap, M.A. Stroscio. "Introduction to Nanoelectronics", Cambridge University Press, 2008.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA:

- D. Esseni, P. Palestri, L. Selmi. "Nanoscale MOS Transistors", Cambridge University Press, 2011.
- Supriyo Datta. "Quantum Transport: Atom to Transistor", Cambridge University Press, 2005.
- Supriyo Datta. "Electronic Transport in Mesoscopic Systems", Cambridge University Press, 1995.

ENLACES RECOMENDADOS

- <http://www.nanohub.org/>

METODOLOGÍA DOCENTE

- **ACTIVIDAD FORMATIVA: Lección magistral (Clases teóricas-expositivas)**
 - Descripción: Presentación en el aula de los conceptos fundamentales y desarrollo de los contenidos propuestos.
 - Propósito: Transmitir los contenidos de las materias de la asignatura motivando al alumnado a la reflexión, facilitándole el descubrimiento de las relaciones entre diversos conceptos y formarle una mentalidad crítica.
 - Contenido en ECTS: 30 horas presenciales (3 ECTS)
- **ACTIVIDAD FORMATIVA Actividades prácticas (Laboratorio)**
 - Descripción: Actividades a través de las cuales se pretende mostrar al alumnado cómo actuar a partir de la aplicación de los conocimientos adquiridos.
 - Propósito: Desarrollo en el alumnado de las habilidades instrumentales de la materia.
 - Contenido en ECTS: 14 horas presenciales (1,4 ECTS).
- **ACTIVIDAD FORMATIVA: Seminarios y problemas**
 - Descripción: Modalidad organizativa de los procesos de enseñanza y aprendizaje donde tratar en profundidad una temática relacionada con la materia. Incorpora actividades basadas en la indagación, el debate, la reflexión y el intercambio.
 - Propósito: Desarrollo en el alumnado de las competencias cognitivas y procedimentales de la materia.
 - Contenido en ECTS: 14 horas presenciales (1,4 ECTS).
- **ACTIVIDAD FORMATIVA: Actividades no presenciales**
 - Actividades no presenciales individuales (Estudio y trabajo autónomo)**
 - Descripción: 1) Actividades (guiadas y no guiadas) propuestas por el profesor a través de las cuales y de forma individual se profundiza en aspectos concretos de la materia posibilitando al estudiante avanzar en la adquisición de determinados conocimientos y procedimientos de la materia, 2) Estudio individualizado de los contenidos de la materia 3) Actividades evaluativas (informes, exámenes, ...)
 - Propósito: Favorecer en el estudiante la capacidad para autorregular su aprendizaje, planificándolo, diseñándolo, evaluándolo y adecuándolo a sus especiales condiciones e intereses.
 - Actividades no presenciales grupales (Estudio y trabajo en grupo)**
 - Descripción: 1) Actividades (guiadas y no guiadas) propuestas por el profesor a través de las cuáles y de forma grupal se profundiza en aspectos concretos de la materia posibilitando a los estudiantes avanzar en la adquisición de determinados conocimientos y procedimientos de la materia.



- Propósito: Favorecer en los estudiantes la generación e intercambio de ideas, la identificación y análisis de diferentes puntos de vista sobre una temática, la generalización o transferencia de conocimiento y la valoración crítica del mismo.
- Contenido en ECTS: 90 horas no presenciales (3,6 ECTS)
- ACTIVIDAD FORMATIVA: Tutorías académicas
 - Descripción: manera de organizar los procesos de enseñanza y aprendizaje que se basa en la interacción directa entre el estudiante y el profesor.
 - Propósito: 1) Orientan el trabajo autónomo y grupal del alumnado, 2) profundizar en distintos aspectos de la materia y 3) orientar la formación académica-integral del estudiante.
 - Contenido en ECTS: 7,5 horas presenciales, grupales e individuales (0,3 ECTS)
- ACTIVIDAD EVALUADORA: Examen
 - Descripción: Prueba escrita en la que el estudiante debe resolver las cuestiones planteadas.
 - Propósito: Evaluar el grado de asimilación de los conceptos y metodologías explicadas.
 - Contenido en ECTS: 2,5 horas presenciales, grupales e individuales (0,1 ECTS)
- METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE
 - Las actividades formativas propuestas se desarrollarán desde una metodología participativa y aplicada que se centra en el trabajo del estudiante (presencial y no presencial/individual y grupal). Las clases teóricas, los seminarios, las clases prácticas, las tutorías, el estudio y trabajo autónomo y el grupal son las maneras de organizar los procesos de enseñanza y aprendizaje de esta materia.

PROGRAMA DE ACTIVIDADES

Segundo cuatrimestre	Temario	Actividades presenciales					Actividades no presenciales				
		Sesiones teóricas (horas)	Sesiones prácticas (horas)	Seminarios y Problemas (horas)	Exámenes (horas)	Etc.	Tutorías individuales (horas)	Tutorías colectivas (horas)	Estudio y trabajo individual del alumno (horas)	Trabajo en grupo (horas)	Etc.
Semana 1	T1	2	1	1			4		6		
Semana 2	T1	2	1	1			4		5	1	
Semana 3	T2	2	1	1			4		5	1	
Semana 4	T2	2	1	1			4		6		
Semana 5	T3 / P1	2	1	1			3	1	5	1	
Semana 6	T3 / P2	2	1	1			4		5	1	
Semana 7	T3 / P3	2	1	1			4		6		
Semana 8	T4	2	1	1			4		5	1	



Semana 9	T4	2	1	1	1		4		5	1	
Semana 10	T4 / P4	2	1	1			3	1	6		
Semana 11	T4	2	1	1			4		5	1	
Semana 12	T5 / P5	2	1	1			4		5	1	
Semana 13	T6 / P6	2	1	1			4		6		
Semana 14	T6 / P6	2	1	1			4		5	1	
Semana 15	T6	2			2		2	2	5	1	
Total horas		30	14	14	2		56	4	80	10	

EVALUACIÓN (INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN, CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y PORCENTAJE SOBRE LA CALIFICACIÓN FINAL, ETC.)

- Con objeto de evaluar la adquisición de los contenidos y competencias a desarrollar en la materia, se utilizará un sistema de evaluación diversificado, seleccionando las técnicas de evaluación más adecuadas en cada momento, que permita poner de manifiesto los diferentes conocimientos y capacidades adquiridos por el alumnado al cursar la asignatura. De entre las siguientes técnicas evaluativas se utilizarán las siguientes:
 - Para la parte teórica se realizarán exámenes finales o parciales, sesiones de evaluación y entregas de ejercicios sobre el desarrollo y los resultados de las actividades propuestas. La ponderación de este bloque será del 65 %.
 - Para la parte práctica se realizarán prácticas de laboratorio, resolución de problemas y desarrollo de proyectos (individuales o en grupo), y se valorarán las entregas de los informes/memorias realizados por los alumnos, o en su caso las entrevistas personales con los alumnos y las sesiones de evaluación. La ponderación de este bloque será del 25 %.
 - En su caso, la parte de trabajo autónomo y los seminarios se evaluarán teniendo en cuenta la asistencia a los seminarios, los problemas propuestos que hayan sido resueltos y entregados por los alumnos, en su caso, las entrevistas efectuadas durante el curso y la presentación oral de los trabajos desarrollados. La ponderación de estos será del 10 %.
- La calificación global corresponderá a la puntuación ponderada de los diferentes aspectos y actividades que integran el sistema de evaluación. Así, el resultado de la evaluación será una calificación numérica obtenida mediante la suma ponderada de las calificaciones correspondientes a una parte teórica, una parte práctica y, en su caso, una parte relacionada con el trabajo autónomo de los alumnos, los seminarios impartidos y el aprendizaje basado en proyectos.
- Para los alumnos que, de acuerdo con la Normativa de Evaluación y calificación de los Estudiantes de la Universidad de Granada opten por la evaluación única final, el examen final único incluirá una parte práctica y otra escrita. La parte práctica consistirá en la realización



de una práctica, excepto para quienes hayan realizado y superado las prácticas de laboratorio durante el curso. Para aprobar la asignatura, se deberá obtener una puntuación de 5 sobre 10 en cada parte.

