



DATOS IDENTIFICATIVOS

Sensores navales

Asignatura	Sensores navales			
Código	P52G381V01502			
Titulación	Grado en Ingeniería Mecánica			
Descriptores	Creditos ECTS	Seleccione	Curso	Cuatrimestre
	6	OB	5	1c
Lengua	Castellano			
Impartición				
Departamento	Departamento del Centro Universitario da Defensa da Escola Naval Militar de Marín			
Coordinador/a	Núñez Ortuño, José María			
Profesorado	Nocelo López, Rubén Núñez Ortuño, José María			
Correo-e	jnunez@ud.vigo.es			
Web	http://moovi.ud.vigo.gal			

Descripción general Esta materia se enmarca dentro del módulo de Intensificación en Tecnología Naval, y en ella se persigue dotar al alumnado de una formación, tanto teórica como práctica, sobre el funcionamiento básico de los sistemas radar y los sensores optoelectrónicos y acústicos en entornos navales y terrestres.

A lo largo de esta asignatura, el alumno se familiarizará con el concepto de sensor naval y conocerá los sensores más habituales en su entorno operativo. Las nociones básicas de todo sistema de teledetección se proporcionarán de forma que el alumno perciba el carácter inherentemente multidisciplinar de esta materia, en la que se aplican múltiples conocimientos adquiridos a lo largo de diferentes asignaturas previas del Grado como Sistemas de Radiocomunicaciones, Tecnología Electrónica, Fundamentos de Automática, Fundamentos de Electrotecnia o Física II (campos electromagnéticos).

Se hará especial hincapié en los sensores radar, tanto de onda continua como pulsados, se revisarán los parámetros que limitan el alcance de un radar, el concepto de probabilidad de detección y de falsa alarma, de sección radar, de clutter, etc. Se estudiarán las distintas técnicas de procesamiento de señal habituales en estos sistemas, muchas de ellas igualmente extrapolables a otros sistemas de teledetección (como sonar), incidiendo así en el carácter multidisciplinar de la asignatura.

Asimismo, el alumno comprenderá la caracterización acústica del medio submarino con su problemática asociada en términos de propagación, ruido y reverberación. Estudiará la composición y caracterización de los sistemas sonar activos y pasivos y los transductores acústicos que se emplean, así como las agrupaciones de estos.

Por último, el alumno conocerá el espectro óptico y la clasificación de las distintas fuentes de emisión de luz (tanto visible como no visible), entenderá el funcionamiento de los distintos tipos de sensores optoelectrónicos y sus características más importantes.

Resultados de Formación y Aprendizaje

Código	
B3	Conocimiento en materias básicas y tecnológicas que les capacite para el aprendizaje de nuevos métodos y teorías, y les dote de versatilidad para adaptarse a nuevas situaciones.
C30	CITN5/OPT1 Conocer los principios que rigen el funcionamiento de los sistemas de comunicaciones y sensores navales.
D1	Análisis y síntesis.
D2	Resolución de problemas.
D5	Gestión de la información.
D8	Toma de decisiones.
D9	Aplicar conocimientos.
D10	Aprendizaje y trabajo autónomos.
D16	Razonamiento crítico.

Resultados previstos en la materia			
Resultados previstos en la materia	Resultados de Formación y Aprendizaje		
Conocer la base tecnológica sobre la que se apoyan los sensores navales.	B3	C30	D1 D5 D10
Comprender el funcionamiento básico de los sensores navales.	B3	C30	D1 D2 D8 D9 D10 D16
Resultado de aprendizaje ENAEE: CONOCIMIENTO Y COMPRENSIÓN	B3		
RA 1.2 Conocimiento y comprensión de las disciplinas de ingeniería propias de su especialidad, en el nivel necesario para adquirir el resto de competencias del título, incluyendo nociones de los últimos adelantos. (nivel de desarrollo de este sub-resultado de aprendizaje: Adecuado (2))			
Resultado de aprendizaje ENAEE: CONOCIMIENTO Y COMPRENSIÓN.		C30	
RA 1.3 Ser conscientes del contexto multidisciplinar de la ingeniería. (Adecuado (2))			
Resultado de aprendizaje ENAEE: ANÁLISIS EN INGENIERÍA			D1
RA 2.2 La capacidad de identificar, formular y resolver problemas de ingeniería en su especialidad; elegir y aplicar de forma adecuada métodos analíticos, de cálculo y experimentales ya establecidos; reconocer la importancia de las restricciones sociales, de salud y seguridad, ambientales, económicas e industriales. (Adecuado (2))			D2 D8 D9 D16
Resultado de aprendizaje ENAEE: APLICACIÓN PRÁCTICA DE LA INGENIERÍA			D9
RA 5.1 Comprensión de las técnicas aplicables y métodos de análisis, proyecto e investigación y sus limitaciones en el ámbito de su especialidad. (Adecuado (2))			
Resultado de aprendizaje ENAEE: APLICACIÓN PRÁCTICA DE LA INGENIERÍA		C30	D8
RA 5.3 Conocimiento de aplicación de materiales, equipos y herramientas, tecnología y procesos de ingeniería y sus limitaciones en el ámbito de su especialidad. (Adecuado (2))			D9
Resultado de aprendizaje ENAEE: FORMACIÓN CONTINUA			D8
RA 8.1 Capacidad de reconocer la necesidad de la formación continua propia y de emprender esta actividad a lo largo de su vida profesional de forma independiente. (Básico (1))			D10

Contenidos

Tema	
Tema 1. Introducción a los Sensores Navales	1.1 Conceptos básicos de sensores navales. 1.2 Bandas de frecuencia utilizadas. 1.3 Introducción a los sistemas radar. 1.4 Parámetros fundamentales de los sistemas radar(*): PRF/PRI, resolución en distancia, resolución angular, distancia máxima no ambigua, tiempo de observación, ... 1.5 Radares monoestáticos, biestáticos y multiestáticos. 1.6 Radares pulsados y radares de onda continua. 1.7 Sección radar (RCS) y ecuación de alcance radar simplificada. 1.8 Diagrama de bloques simplificado de un sistema radar. (*) Se hará hincapié en que la mayor parte de estos conceptos son extrapolables a otros sistemas de teledetección.
Tema 2. Radares pulsados	2.1 Principios básicos de funcionamiento. 2.2 Relación señal a ruido y probabilidad de detección. 2.3 Técnicas de integración de pulsos. 2.4 Pérdidas a tener en cuenta en la ecuación de alcance radar: 2.4.1 Blancos fluctuantes. 2.4.2 Pérdidas por propagación. 2.4.3 Pérdidas por fenómenos atmosféricos. 2.4.4 Fuentes de interferencia en sistemas radar: clutter, jamming, ... 2.5 Sección radar (RCS) y tecnologías stealth.

Tema 3. Radares de onda continua	3.1 Introducción: 3.1.1 Efecto Doppler. 3.1.2 Diferencias fundamentales entre un radar pulsado y un radar de onda continua. 3.2 Radares de onda continua y frecuencia modulada. 3.2.1 Con modulación en diente de sierra (CHIRP). 3.2.2 Con modulación triangular. 3.3 Ecuación de alcance radar para sistemas de onda continua. 3.4 Ventajas y limitaciones de los radares de onda continua.
Tema 4. Procesado de señal	4.1 Técnicas de compresión de pulsos. 4.1.1 Compresión de pulsos en frecuencia 4.1.2 Compresión de pulsos en fase 4.2 Sistemas MTI y Doppler pulsados. 4.3 PRF Staggering.
Tema 5. Sensores optoelectrónicos	5.1 Espectro óptico. 5.2 Sensores IR medio (térmicos). 5.3 Sensores IR cercano (visión nocturna, comunicaciones IR). 5.4 Sensores en otras bandas del espectro óptico (UV, visible, IR). 5.5 Emisores optoelectrónicos: Láser vs. LED. 5.6 Sensores optoelectrónicos: Fotodetectores. 5.7 Otros sensores y aplicaciones: telémetros láser, luxómetros, LIDAR etc.
Tema 6. Sensores acústicos y sistemas sódar	6.1 Introducción. 6.2 Oceanografía acústica. 6.3 Propagación acústica submarina. 6.4 Sistemas sonar activos y pasivos. 6.5 Ruido y reverberación.
Tema 7. Radares de propósito específico	7.1 Radares multifunción. 7.2 Radar secundario (IFF, Identification Friend or Foe). 7.3 Radar de baja probabilidad de interceptación (LPI, Low Probability of Intercept). 7.4 Radar de apertura sintética (SAR, Synthetic Aperture Radar).
Práctica 1: Introducción a los sistemas de teledetección y sistemas radar	Esta práctica tiene como objetivo la familiarización del alumno con los conceptos básicos de todo sistema de teledetección. Mediante el uso de ejemplos y scripts en Matlab, se procederá a ilustrar conceptos como la respuesta en tiempo de un blanco conformado por diferentes dispersores, su reflectividad con la distancia, la relación entre la resolución de un sistema, la sensibilidad y la probabilidad de detección, así como la respuesta en frecuencia de un blanco y su relación con las técnicas de espectro ensanchado. Los alumnos podrán comprobar como determinadas técnicas comunes (integración de pulsos) contribuyen de forma efectiva a aumentar la probabilidad de detección.
Práctica 2: Sistemas radar de onda pulsada (PW, Pulsed Wave)	El objetivo fundamental de esta práctica es que el alumno comprenda las diferencias de funcionamiento entre un sistema pulsado y uno de onda continua, así como sus diferentes aplicaciones y las limitaciones de cada uno de ellos. Dada la imposibilidad de disponer de múltiples radares de onda pulsada para grupos reducidos de alumnos, se utilizarán simuladores desarrollados en Matlab que muestran el funcionamiento de ambos sistemas en diferentes casos de estudio. Habida cuenta que los principios básicos de los sistemas pulsados son similares para radar, sonar y lidar, los alumnos adquieren soltura en el manejo de un sistema de teledetección genérico, gracias a la flexibilidad de los simuladores para la ubicación de blancos en situaciones de interés. Se introducirá igualmente el concepto de Sección Equivalente Radar (RCS) explicado en clases de teoría. Se simulará la respuesta radar de diferentes geometrías y tipos de blancos en función de su RCS. Se analizarán las técnicas básicas invisibilidad o técnicas stealth.
Práctica 3: Montaje y análisis de un radar de onda continua (CW, Continuous Wave) para detección de movimiento	Esta práctica tiene como objetivo que el alumno comprenda en profundidad el funcionamiento y arquitectura de un radar de onda continua. Para ello, se trabajará con un radar CW sencillo, que permitirá analizar el funcionamiento Doppler de un radar, así como los diferentes tipos de modulación empleados. Mediante la realización de ejemplos con diferentes blancos, el alumno podrá comprobar los diferentes parámetros de estos sistemas y compararlos con los equivalentes en un sistema de onda pulsada, extrayendo sus propias conclusiones.

Práctica 4: Procesado de señal radar	Esta práctica tiene como objetivo que el alumno comprenda las principales técnicas de procesado de la señal radar, aplicables igualmente a otros sistemas de teledetección, como sistemas sonar o lidar, entre las que se cuentan: compresión de pulsos en frecuencia y en fase, técnicas de filtrado anti-clutter o sistemas MTI, PRF staggering,[] Mediante la utilización de diferentes scripts en Matlab, el alumno podrá visualizar los efectos de cada una de las técnicas empleadas en estos sistemas, así como reforzar los conceptos fundamentales relacionados con los mismos (resolución en distancia, banco de filtros Doppler, []).
Práctica 5: Dispositivos optoelectrónicos	Esta práctica tiene como objetivo que el alumno se familiarice con los diferentes sensores optoelectrónicos existentes, así como con las particularidades del espectro óptico. Para ello, se dispondrá en el laboratorio de diferentes dispositivos optoelectrónicos que el alumno deberá aprender a operar bajo diferentes circunstancias. Entre otros, se dispondrá de: Cámaras termográficas, visores de visión nocturna, telémetros LÁSER, ... Mediante el manejo de los mismos, el alumno deberá adquirir la capacidad de diferenciar las características y limitaciones de cada uno de estos sistemas.
Práctica 6: Propagación acústica	Esta práctica tiene como objetivo que el alumno visualice los mecanismos de propagación anómala que se dan en el uso de sistemas de detección SONAR a larga distancia. Para la realización de esta práctica el alumno contará con un simulador de propagación acústica, que ilustrará el comportamiento de las ondas sonoras en dominios multicapa. El alumno analizará el comportamiento de los sistemas en diferentes condiciones (aguas cálidas y aguas frías) y las oportunidades que dichas condiciones confieren a los submarinos para permanecer indetectados. El alumno simulará el funcionamiento de varios tipos de sistemas SONAR (casco y remolcados) entendiendo las ventajas y limitaciones de cada sistema.
Práctica 7: Ecosondas	Esta práctica tiene como objetivo ilustrar el funcionamiento de las sondas ultrasónicas de profundidad (ecosondas) y los fenómenos físicos involucrados. Para la realización de esta práctica el alumno contará con un modelo a escala de una sonda de profundidad basada en ultrasonidos, compuesto de: un sistema de ultrasonidos, un tanque de agua de 50 litros, diferentes elementos (arena y rocas) simulando el fondo marino, modelos a escala de diferentes blancos y un ordenador en el que se visualizarán los datos procedentes de la sonda. Con este sistema sonar a baja escala, el alumno aprenderá la operación de este tipo de equipos, así como la interpretación de los resultados proporcionados por el mismo. El alumno analizará las limitaciones del sistema, así como varios artefactos debido a los mecanismos de propagación acústica. El alumno generalizará los resultados observados a un sistema real, analizando los potenciales problemas (o ventajas) que podrían surgir.

Planificación			
	Horas en clase	Horas fuera de clase	Horas totales
Lección magistral	28	42	70
Prácticas de laboratorio	14	7	21
Seminario	21	5	26
Resolución de problemas y/o ejercicios	9	12	21
Resolución de problemas y/o ejercicios	2	4	6
Examen de preguntas objetivas	1	1	2
Trabajo	1	3	4

*Los datos que aparecen en la tabla de planificación son de carácter orientativo, considerando la heterogeneidad de alumnado

Metodologías	
	Descripción

Lección magistral	En estas sesiones, se explicarán detalladamente los contenidos teóricos básicos del programa, exponiendo ejemplos aclaratorios con los que profundizar en la comprensión de la materia. Se utilizará la pizarra y, puntualmente, presentaciones informáticas y/o animaciones para transmitir información multimedia, como animaciones, gráficos, fotografías, etc. En caso de utilizar transparencias, se proporcionará una copia a los alumnos con anterioridad a la exposición. Las reproducciones en papel de las transparencias nunca deben ser consideradas como sustitutos de las explicaciones en el aula, sino que deberán tratarse como material complementario de apoyo.
Prácticas de laboratorio	Las prácticas de laboratorio están dirigidas a afianzar los conceptos teóricos abordados en las sesiones en el aula. El método didáctico a seguir en la impartición de las clases prácticas consiste en que el profesor tutela el trabajo que realizan los diversos grupos en los que se divide el alumnado. En las clases prácticas se utilizarán los medios disponibles en el laboratorio del Centro, y en las que el alumno debe tener en cuenta las siguientes directivas de obligado cumplimiento: ☐ Las sesiones prácticas son obligatorias. ☐ En caso de ausencias justificadas, el alumno podrá recuperar prácticas puntuales, presentando la documentación que acredite de forma correcta dicha falta. ☐ No existe la posibilidad de recuperar las prácticas en caso de suspenderlas.
Seminario	Dado que la acción tutorial se afronta como una actuación de apoyo grupal al proceso de aprendizaje del alumno, las tutorías se realizarán preferentemente en seminarios y bajo el formato de reuniones en pequeños grupos. En ellas se realizarán actividades de refuerzo al aprendizaje mediante la resolución tutelada de supuestos prácticos vinculados a los contenidos teóricos de la asignatura. Se incluyen en este apartado las horas del curso intensivo que se realiza como preparación de los exámenes extraordinarios.

Atención personalizada

Metodologías	Descripción
Seminario	En el ámbito de la acción tutorial, se distinguen acciones de tutoría académica así como de tutoría personalizada. En el primero de los casos, el alumnado tendrá a su disposición horas de tutorías en las que puede consultar cualquier duda relacionada con los contenidos, organización y planificación de la materia, etc. Las tutorías pueden ser individualizadas, pero se fomentarán tutorías grupales para la resolución de problemas. Los profesores de la asignatura atenderán personalmente las dudas y consultas de los alumnos, tanto de forma presencial, según el horario que se publicará en la página web del centro, como a través de medios telemáticos (correo electrónico, videoconferencia, foros de Moovi, etc.) bajo la modalidad de cita previa. En las tutorías personalizadas, cada alumno, de manera individual, podrá comentar con el profesor cualquier problema que le esté impidiendo realizar un seguimiento adecuado de la materia, con el fin de encontrar entre ambos algún tipo de solución. Conjugando ambos tipos de acción tutorial, se pretenden compensar los diferentes ritmos de aprendizaje mediante la atención a la diversidad.

Evaluación

	Descripción	Calificación	Resultados de Formación y Aprendizaje			
Resolución de problemas y/o ejercicios	Examen parcial: ☐ Peso total: 30% de NEC. ☐ Prueba única, de entre 1 hora y 1 hora y media de duración. ☐ Realización individual. ☐ Se puntúa sobre 10 puntos. ☐ Puede tener la forma de cuestionario tipo test, cuestionario de respuestas cortas, resolución de problemas o alguna combinación de las anteriores. ☐ No hay nota mínima.	30	B3	C30	D1	D2
					D5	D8
					D9	D10
					D16	

Resolución de problemas y/o ejercicios	Examen final:	40	B3	C30	D1 D2 D5 D8 D9 D10 D16
	☐ Peso total: 40% de NEC. ☐ Prueba única, de 2 a 3 horas de duración, a realizar en las fechas de evaluación. ☐ Realización individual. ☐ Puntúa sobre 10 puntos. ☐ Puede tener la forma de cuestionario tipo test, cuestionario de respuestas cortas, resolución de problemas o alguna combinación de las anteriores. ☐ Se exige una nota mínima de 4.0 puntos sobre 10 para superar la asignatura.				
Examen de preguntas objetivas	Evaluación de las prácticas:	20		C30	D1 D2 D5 D8 D9 D16
	☐ Peso total: 20% de NEC. ☐ Dos pruebas de un 10%, que evalúan los contenidos adquiridos en prácticas. ☐ Realización individual. ☐ De 10 a 20 minutos de duración, durante la realización de dos prácticas. ☐ Cada una de ellas puntúa sobre 10 puntos. ☐ Pueden tener la forma de cuestionario tipo test, cuestionario de respuestas cortas, resolución de problemas o alguna combinación de las anteriores. ☐ Se exige una nota mínima de 4.0 puntos sobre 10 en el total del 20% destinado a evaluar las prácticas.				
Trabajo	Trabajo multimedia (vídeo):	10	B3	C30	D1 D2 D9 D10
	☐ Peso total: 10% de NEC. ☐ Grabación de un video sobre un experimento realizado por el alumno y relacionado con la materia impartida en la asignatura. ☐ Máximo 3 minutos de duración. ☐ Individual o en grupos de dos alumnos. ☐ Se puntúa sobre 10 puntos.				

Otros comentarios sobre la Evaluación

Examen ordinario

El peso en la nota final del examen ordinario (NEO) de las distintas partes se distribuye de la siguiente forma:

- Conocimientos de teoría (T): 80%
- Prácticas (L): 20%

Donde:

Examen ordinario teórico (T) (80%):

- Evaluación de los conocimientos teóricos adquiridos a lo largo de la asignatura.
- Examen de 2 a 3 horas de duración, a realizar en las fechas de evaluación.
- Se puntúa sobre 10 puntos.
- La realización es individual.
- Puede tener la forma de cuestionario tipo test, cuestionario de respuestas cortas, resolución de problemas o alguna combinación de las anteriores.

Examen ordinario práctico (L) (20%):

- Evaluación de los conocimientos prácticos adquiridos a lo largo de la asignatura.
- Examen de 15-30 minutos de duración, a realizar en las mismas fechas que el examen ordinario teórico.
- Se puntúa sobre 10 puntos.
- Puede tener la forma de cuestionario tipo test, cuestionario de respuestas cortas, resolución de problemas o alguna

combinación de las anteriores.

Nota final y requisitos mínimos para superar la asignatura en convocatoria ordinaria:

La nota final (*NEO*) se calcula con la siguiente fórmula:

$$NEO = 0.8 T + 0.2 L$$

Siendo necesario llegar a una nota mínima de 4.0 puntos sobre 10 en cada una de las dos partes y a una nota igual o superior a 5.0 puntos sobre 10 en el cómputo de la *NEO*, para poder aprobar la asignatura.

Examen extraordinario

El alumno que no supere la asignatura en primera convocatoria debe presentarse a la convocatoria extraordinaria (segunda convocatoria), en la que se mantendrá la misma estructura, duración de examen, ponderaciones y mínimos requeridos que en la convocatoria ordinaria.

Compromiso ético

Se espera que el alumnado tenga un comportamiento ético adecuado, comprometiéndose a actuar con honestidad. En base al artículo 42.1 del *Reglamento sobre la evaluación, la calificación y la calidad de la docencia y del proceso de aprendizaje del estudiantado de la Universidad de Vigo*, así como del punto 6 de la norma quinta de la Orden DEF/711/2022, de 18 de julio, por la que se establecen las normas de evaluación, progreso y permanencia en los centros docentes militares de formación para la incorporación a las escalas de las Fuerzas Armadas, **la utilización de procedimientos fraudulentos en pruebas de evaluación, así como la cooperación en ellos implicará la cualificación de cero (suspense) en el acta de la convocatoria correspondiente**, con independencia del valor que sobre la calificación global tuviese la prueba en cuestión y sin perjuicio de las posibles consecuencias de índole disciplinaria que puedan producirse.

Fuentes de información

Bibliografía Básica

Curry, G. Richard, **Radar Essentials. A concise handbook for radar design and performance analysis**, 1ª ed., Scitech Publishing Inc., 2012

Bibliografía Complementaria

Denny M., **Blip, Ping & Buzz. Making sense of radar and sonar**, 1ª ed., The Johns Hopkins University Press, 2007

Skolnik, Merrill I., **Introduction to Radar Systems**, 3ª ed., McGraw-Hill, 2003

Eaves J., Reedy E., **Principles of Modern Radar**, 2ª ed., Springer, 2011

Marage J., Mori Y., **Sonars and Underwater acoustics**, 1ª ed., Wiley, 2010

Mahafza B. R., **Radar systems analysis and design using Matlab**, 3ª ed., CRC Press, 2010

Recomendaciones

Asignaturas que se recomienda haber cursado previamente

Tecnología electrónica/P52G381V01301

Sistemas de radiocomunicaciones/P52G381V01408
