ANX-PR/CL/001-01

LEARNING GUIDE

SUBJECT

143003012 - Missiles Guidance, Navigation, Control And Traject

DEGREE PROGRAMME

14IB - Master Universitario En Ingenieria Aeronautica

ACADEMIC YEAR & SEMESTER

2025/26 - Semester 1

Index

Learning guide

1. Description

1.1. Subject details

Name of the subject	143003012 - Missiles Guidance, Navigation, Control And Traject
No of credits	4.5 ECTS
Type	Optional/elective
Academic year ot the programme	Second year
Semester of tuition	Semester 3
Tuition period	September-January
Tuition languages	English
Degree programme	14IB - Master Universitario en Ingenieria Aeronautica
Centre	14 - E.T.S.I. Aeronáutica Y Del Espacio
Academic year	2025-26

2. Faculty

2.1. Faculty members with subject teaching role

Name and surname	Office/Room	Email	Tutoring hours *
Pablo Salgado Sanchez	B-215	pablo.salgado@upm.es	Sin horario.
Ana Laveron Simavilla	DAVE/hanger	ana.laveron@upm.es	Sin horario.
Jeffrey Brent Porter (Subject coordinator)	DAVE/C013	jeff.porter@upm.es	Sin horario. Hours for tutorias will be posted on Moodle.

Jacobo Rodriguez Otero	DAVE/hanger	jacobo.rodriguez@upm.es	Sin horario.
Ignacio Tinao Perez-Miravete	DMAIA	ignacio.tinao@upm.es	Sin horario.

* The tutoring schedule is indicative and subject to possible changes. Please check tutoring times with the faculty member in charge.

3. Prior knowledge recommended to take the subject

3.1. Recommended (passed) subjects

- DinÁmica Del Vuelo

- TÉcnicas De OptimizaciÓn Y Control Para El DiseÑo De Aerorreactores

3.2. Other recommended learning outcomes

- Level B2 english

4. Skills and learning outcomes *

4.1. Skills to be learned

CE-VA-1 - Aptitud para proyectar, construir, inspeccionar, certificar y mantener todo tipo de aeronaves y vehículos espaciales.

CE-VA-10 - Conocimiento adecuado de los distintos Subsistemas de las Aeronaves y los Vehículos Espaciales.

CE-VA-3 - Comprensión y dominio de las leyes de la Aerodinámica Externa en los distintos regímenes de vuelo, y aplicación de las mismas a la Aerodinámica Numérica y Experimental.

CE-VA-5 - Comprensión y dominio de la Mecánica del Vuelo Atmosférico (Actuaciones y Estabilidad y Control Estáticos y Dinámicos), y de la Mecánica Orbital y Dinámica de Actitud.

CE-VA-8 - Conocimientos y capacidades para el Análisis y el Diseño Estructural de las Aeronaves y los Vehículos Espaciales, incluyendo la aplicación de programas de cálculo y diseño avanzado de estructuras.

CG1 - Capacidad para proyectar, construir, inspeccionar, certificar y mantener todo tipo de aeronaves y vehículos espaciales, con sus correspondientes subsistemas.

CG11 - Poseer y comprender conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en el desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación.

CG12 - Aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio.

CG13 - Ser capaz de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios.

CG14 - Comunicar sus conclusiones ?y los conocimientos y razones últimas que las sustentan? a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.

CG15 - Poseer las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

CG16 - Capacidad de integrar el respeto al medio ambiente como actitud general en la gestión y el desempeño de sus actividades.

CG4 - Capacidad de integrar sistemas aeroespaciales complejos y equipos de trabajo multidisciplinares.

CG6 - Capacidad para el análisis y la resolución de problemas aeroespaciales en entornos nuevos o desconocidos, dentro de contextos amplios y complejos.

CG7 - Competencia para planificar, proyectar, gestionar y certificar los procedimientos, infraestructuras y sistemas que soportan la actividad aeroespacial, incluyendo los sistemas de navegación aérea.

CG9 - Competencia en todas aquellas áreas relacionadas con las tecnologías aeroportuarias, aeronáuticas o espaciales que, por su naturaleza, no sean exclusivas de otras ramas de la ingeniería.

CT1 - Capacidad para comprender los contenidos de clases magistrales, conferencias y seminarios, así como cualquier información y documentación en lengua inglesa.

CT2 - Capacidad para dinamizar y liderar equipos de trabajo multidisciplinares.

CT3 - Capacidad para adoptar soluciones creativas que satisfagan adecuadamente las diferentes necesidades planteadas.

CT4 - Capacidad para trabajar de forma efectiva como individuo, organizando y planificando su propio trabajo, de

forma independiente o como miembro de un equipo.

CT5 - Capacidad para gestionar la información, identificando las fuentes necesarias, los principales tipos de documentos técnicos y científicos, de una manera adecuada y eficiente.

CT6 - Capacidad para emitir juicios sobre implicaciones económicas, administrativas, sociales, éticas y medioambientales ligadas a la aplicación de sus conocimientos.

CT7 - Capacidad para trabajar en contextos internacionales.

4.2. Learning outcomes

RA143 - La comprensión de las posibles estrategias para GNC de misiles con sus diferentes ventajas e inconvenientes, y la capacidad de aplicarlas a problemas prácticos.

RA29 - Conocer los aspectos básicos y las técnicas usadas en el campo de la determinación de órbitas. Conocer los rudimentos de las técnicas de navegación y guiado..

RA42 - Mejora sus capacidades de análisis a lo largo del semestre, en presentaciones escritas y desarrollos de resolución de ejercicios, planteamiento, resultados y unidades, entre otros.

RA25 - Conocer y saber usar la teoría de perturbaciones y sus aplicaciones fundamentales

RA35 - Conocer los elementos básicos de la teoría de estabilidad de vehículos espaciales.

RA28 - Conocer los aspectos básicos del movimiento relativo y las diferentes teorías que se recogen alrededor del concepto de matriz de transición..

RA118 - La comprensión de teoría y técnicas de optimización en el contexto de los misiles, así como la adquisición de habilidades analíticas necesarias para aplicarlas a problemas reales.

* The Learning Guides should reflect the Skills and Learning Outcomes in the same way as indicated in the Degree Verification Memory. For this reason, they have not been translated into English and appear in Spanish.

5. Brief description of the subject and syllabus

5.1. Brief description of the subject

This course will cover the tools needed for solving practical problems in guidance, optimization and control, and their application to missile trajectories. Topics include variational methods, common guidance laws, optimizing guidance laws, error and noise, filters, airframe dynamics, flight control systems.

5.2. Syllabus

1. MATHEMATICAL PRELIMINARIES (as required)
   1.1. Differential equations (linearization, stability, particular solutions, transition matrix)
   1.2. Transform methods and transfer functions
2. CALCULUS OF VARIATIONS
   2.1. Minimization principles
   2.2. Euler-Lagrange equations
   2.3. Lagrange multipliers
   2.4. Application to optimal control
   2.5. Cost functions
   2.6. Hamiltonian method
3. GUIDANCE LAWS FOR MISSILES
   3.1. Review of classical guidance laws including proportional and augmented proportional navigation
   3.2. Optimal control laws
   3.3. Miss distance
   3.4. Time lags
   3.5. Method of adjoints
   3.6. Alternative guidance laws
4. ERROR AND NOISE
   4.1. Random variables and noise

4.2. Filtering techniques

4.3. Randomly distributed maneuvers

4.4. Shaping filters

4.5. Kalman filters

5. APPLICATION TO REALISTIC MISSILES AND ENGAGEMENTS

5.1. Guidance schemes for smart targets

5.2. Airframe dynamics

5.3. Flight control systems

6. Schedule

6.1. Subject schedule*

Week	Type 1 activities	Type 2 activities	Distant / On-line	Assessment activities
1	**Theme 1** Duration: 03:00 Lecture			
2	**Theme 1** Duration: 03:00 Lecture			
3	**Theme 2** Duration: 03:00 Lecture			
4	**Theme 2** Duration: 03:00 Lecture			
5	**Theme 3** Duration: 03:00 Lecture			
6	**Theme 3** Duration: 01:30 Lecture **Class exercises** Duration: 01:30 Problem-solving class			**Class exercises** Group work Progressive assessment Presential Duration: 01:30
7	**Theme 3** Duration: 01:30 Lecture **Class exercises** Duration: 01:30 Problem-solving class			**Class exercises** Group work Progressive assessment Presential Duration: 01:30
8	**Theme 3** Duration: 01:30 Lecture **Class exercises** Duration: 01:30 Problem-solving class			**Class exercises** Group work Progressive assessment Presential Duration: 01:30
9	**Theme 3** Duration: 01:30 Lecture **Class exercises** Duration: 01:30 Problem-solving class			**Class exercises** Group work Progressive assessment Presential Duration: 01:30

10	**Theme 3** Duration: 01:30 Lecture **Class exercises** Duration: 01:30 Problem-solving class			**Project/Homework** Group work Progressive assessment Not Presential Duration: 00:00 **Class exercises** Group work Progressive assessment Presential Duration: 01:30
11	**Theme 4** Duration: 01:30 Lecture **Class exercises** Duration: 01:30 Problem-solving class			**Class exercises** Group work Progressive assessment Presential Duration: 01:30
12	**Theme 4** Duration: 01:30 Lecture **Class exercises** Duration: 01:30 Problem-solving class			**Class exercises** Group work Progressive assessment Presential Duration: 01:30
13	**Theme 4/5** Duration: 01:30 Lecture **Class exercises** Duration: 01:30 Problem-solving class			**Class exercises** Group work Progressive assessment Presential Duration: 01:30
14	**Theme 5** Duration: 01:30 Lecture **Class exercises** Duration: 01:30 Problem-solving class			**Class exercises** Group work Progressive assessment Presential Duration: 01:30
15	**Theme 5** Duration: 03:00 Lecture			
16				**Final project and presentation (project to be completed in groups or individual, if necessary, with the final presentation presential)** Group presentation Progressive assessment and Global Examination Presential Duration: 00:30
17				**Exam: multiple-choice, short answer** Written test Progressive assessment Presential Duration: 01:00 **Exam: multiple-choice, short answer, problems** Written test Global examination

				Presential Duration: 02:00

Depending on the programme study plan, total values will be calculated according to the ECTS credit unit as 26/27 hours of student face-to-face contact and independent study time.

7. Activities and assessment criteria

7.1. Assessment activities

7.1.1. Assessment

Week	Description	Modality	Type	Duration	Weight	Minimum grade	Evaluated skills
6	Class exercises	Group work	Face-to-face	01:30	1.11%	0 / 10	CG11 CG14 CG15 CT1 CE-VA-5 CT3 CT4
7	Class exercises	Group work	Face-to-face	01:30	1.11%	0 / 10	CG11 CG14 CG15 CT1 CE-VA-5 CT3 CT4
8	Class exercises	Group work	Face-to-face	01:30	1.11%	0 / 10	CG11 CG14 CG15 CT1 CE-VA-5 CT3 CT4
9	Class exercises	Group work	Face-to-face	01:30	1.11%	0 / 10	CG11 CG14 CG15 CT1 CE-VA-5 CT3 CT4
10	Project/Homework	Group work	No Presential	00:00	30.01%	3 / 10	CG6 CG11 CG14 CG15 CT1 CE-VA-5 CT3 CT4

10	Class exercises	Group work	Face-to-face	01:30	1.11%	0 / 10	CG11 CG14 CG15 CT1 CE-VA-5 CT3 CT4
11	Class exercises	Group work	Face-to-face	01:30	1.11%	0 / 10	CG11 CG14 CG15 CT1 CE-VA-5 CT3 CT4
12	Class exercises	Group work	Face-to-face	01:30	1.11%	0 / 10	CG11 CG14 CG15 CT1 CE-VA-5 CT3 CT4
13	Class exercises	Group work	Face-to-face	01:30	1.11%	0 / 10	CG11 CG14 CG15 CT1 CE-VA-5 CT3 CT4
14	Class exercises	Group work	Face-to-face	01:30	1.11%	0 / 10	CG11 CG14 CG15 CT1 CE-VA-5 CT3 CT4
16	Final project and presentation (project to be completed in groups or individual, if necessary, with the final presentation presential)	Group presentation	Face-to-face	00:30	55%	5 / 10	CG4 CG6 CG11 CG14 CG15 CT1 CE-VA-5 CG1 CT3 CE-VA-10 CT4 CG7 CG12

17	Exam: multiple-choice, short answer	Written test	Face-to-face	01:00	5%	5 / 10	CG14 CG15 CT1 CT3

7.1.2. Global examination

Week	Description	Modality	Type	Duration	Weight	Minimum grade	Evaluated skills
16	Final project and presentation (project to be completed in groups or individual, if necessary, with the final presentation presential)	Group presentation	Face-to-face	00:30	55%	5 / 10	CG4 CG6 CG11 CG14 CG15 CT1 CE-VA-5 CG1 CT3 CE-VA-10 CT4 CG7 CG12
17	Exam: multiple-choice, short answer, problems	Written test	Face-to-face	02:00	45%	5 / 10	CG14 CG15 CT1 CT3

7.1.3. Referred (re-sit) examination

Description	Modality	Type	Duration	Weight	Minimum grade	Evaluated skills
Final project and presentation (to be completed in groups or individual, if necessary, with the final presentation presential)	Group presentation	Face-to-face	00:30	55%	5 / 10	CG4 CG6 CG11 CG14 CG15 CT1 CE-VA-5 CG1 CT3 CE-VA-10 CT4 CG7 CG12

Exam: multiple-choice, short answer, problems	Written test	Face-to-face	02:00	45%	5 / 10	CG14 CG15 CT1 CT3

7.2. Assessment criteria

Evaluation by continuous assessment will be based on problems sets done in groups and discussed in class (10%), one midterm homework/project (30%) and one final homework/project, both also completed in groups. The final project and a final presentation by each group will constitute most of the final exam (55% of the total grade). A series of individual multiple-choice or short answer questions will count for 5% of the grade (but students must pass this short exam with at least 5/10 to pass the course).

In the case of evaluation only by global (final) exam, the final project (in groups, or individual if necessary) and presentation will constitute 55% of the grade and the in-person written exam will be worth 45%.

8. Teaching resources

8.1. Teaching resources for the subject

Name	Type	Notes
Class notes	Bibliography	Class notes will be available on Moodle.
ZARCHAN, P., "Tactical and Strategic Missile Guidance (Progress in Astronautics and Aeronautics)", Sixth Edition, 2013.	Bibliography	Principal text reference for the course.
SIOURIS, G.M, "Missile Guidance and Control Systems", 2004.	Bibliography	

DORF, R.C., BISHOP, R.H., "Modern Control Systems", Twelfth Edition, 2011.	Bibliography	
GOLDSTEIN, H., "Classical Mechanics", Third Edition, 2001.	Bibliography	
YANUSHEVSKY, R., "Modern Missile Guidance", 2008.	Bibliography	
SHNEYDOR, N.A., "Missile Guidance and Pursuit: Kinematics, Dynamics and Control", 1998.	Bibliography	
LANCZOS, C., "The Variational Principles of Mechanics", Fourth Edition, 1986.	Bibliography	
BLAKELOCK, J.H., "Automatic Control of Aircraft and Missiles", Second Edition, 1991.	Bibliography	
LIN, C.F., "Modern Navigation, Guidance, and Control Processing, Vol. II", 1991.	Bibliography	
BROOKER, E., "Tracking and Kalman Filtering Made Easy", 1998.	Bibliography	
Course page on Moodle http://moodle.upm.es/	Web resource	All course materials: notes, exercises, homework, solutions, etc. will be available on this platform. Any important information and advisories will also be communicated via Moodle.

9. Other information

9.1. Other information about the subject