
	ETSI AERONÁUTICA Y DEL ESPACIO UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID	
PR-CL-001.- COORDINACIÓN DE LAS ENSEÑANZAS		

GUÍA DE APRENDIZAJE**CURSO 2017/18****ÍNDICE**

1. DESCRIPCIÓN DE LA ASIGNATURA
2. CONOCIMIENTOS PREVIOS
3. COMPETENCIAS
4. RESULTADOS DE APRENDIZAJE
5. PROFESORADO
6. PROGRAMA
7. PLAN DE TRABAJO
8. SISTEMA DE EVALUACIÓN
9. RECURSOS DIDÁCTICOS
10. OTRA INFORMACIÓN

PLAN 141B – MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA AERONÁUTICACódigo **143003033**Asignatura **FUNDAMENTOS FÍSICOS DE LOS MOTORES COHETE POR ACELERACIÓN DE PLASMA**Nombre en Inglés **PLASMA ROCKET ENGINES**

Módulo INTENSIFICACIÓN EN PROPULSIÓN AEROESPACIAL

Idiomas CASTELLANO / INGLÉS

Curso	SEGUNDO
Semestre	TERCERO
Carácter	OP
Créditos	3 ECTS

1. DESCRIPCIÓN DE LA ASIGNATURA

La asignatura consta de dos partes dedicadas, respectivamente, a la Física de Plasmas y a la propulsión por plasmas. En la primera parte, se describen los fundamentos de físicos de los plasmas, sus propiedades y parámetros más importantes. Se estudian las longitudes y tiempos característicos, el movimiento de cargas en campos electromagnéticos, las distribuciones de velocidades, las colisiones entre partículas del plasma y la propagación de ondas electromagnéticas. Se describen las ecuaciones cinéticas (Vlasov, Boltzmann y Fokker-Planck) y magneto-hidrodinámicas (MHD) como herramientas fundamentales para el estudio de la propulsión por plasma.

En la segunda parte, se aborda el estudio de la generación y aceleración de iones en plasmas, con especial énfasis en el modelado analítico y la simulación numérica. Se describen los principales dispositivos de propulsión, incluyendo los del tipo *arcjet*, iónicos, de efecto Hall, y los de plasma pulsado.

2. CONOCIMIENTOS PREVIOS**a) CONOCIMIENTOS PREVIOS NECESARIOS para seguir con normalidad la ASIGNATURA.****Asignaturas superadas:** GRADO DE INGENIERÍA AEROESPACIAL**Otros requisitos:** Primer curso del Master en Ingeniería Aeronáutica**b) CONOCIMIENTOS PREVIOS RECOMENDADOS para seguir con normalidad la ASIGNATURA.****Se recomienda tener superadas las Asignaturas:** Mecánica de Fluidos Avanzada**Otros Conocimientos:****3. COMPETENCIAS**

- CG1.-** Capacidad para proyectar, construir, inspeccionar, certificar y mantener todo tipo de aeronaves y vehículos espaciales, con sus correspondientes subsistemas.
- CG3.-** Capacidad para la dirección general y la dirección técnica de proyectos de investigación, desarrollo e innovación, en empresas y centros tecnológicos aeronáuticos y espaciales.
- CG4.-** Capacidad de integrar sistemas aeroespaciales complejos y equipos de trabajo multidisciplinares.
- CG5.-** Capacidad para analizar y corregir el impacto ambiental y social de las soluciones técnicas de cualquier sistema aeroespacial.
- 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.
- CG8.-** Competencia para el proyecto de construcciones e instalaciones aeronáuticas y espaciales, que requieran un proyecto integrado de conjunto, por la diversidad de sus tecnologías, su complejidad o por los amplios conocimientos técnicos necesarios.
- 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.
- CG10.-** Conocimiento, comprensión y capacidad para aplicar la legislación necesaria en el ejercicio de la profesión de Ingeniero Aeronáutico.

- 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.
- 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.
- CE-SP-1.-** Aptitud para proyectar, construir y seleccionar la planta de potencia más adecuada para un vehículo aeroespacial.
- CE-SP-2.-** Conocimiento adecuado de la Física de Plasmas y de los métodos numéricos y experimentales más utilizados.
- CE-SP-7.-** Capacidad para acometer el Diseño Mecánico de los distintos componentes de un sistema propulsivo, así como del sistema propulsivo en su conjunto.
- CE-SP-8.-** Capacidad para diseñar, ejecutar y analizar los ensayos de sistemas propulsivos, y para llevar a cabo el proceso completo de certificación de los mismos.
- CE-SP-9.-** Conocimiento adecuado de los distintos subsistemas de las plantas propulsivas de vehículos aeroespaciales.

4. RESULTADOS DE APRENDIZAJE

El curso proporciona a los estudiantes la base teórica y práctica necesaria para comprender los principales sistemas de propulsión eléctricos que se han propuesto hasta el momento. Se incluyen los fundamentos físicos, el diseño y la operación de sistemas electro-térmicos, electrostáticos y electromagnéticos, incluyendo la generación de plasma, la aceleración de iones y la neutralización del

haz. La discusión de cada clase de propulsor se complementará con ejemplos de su aplicación en programas específicos.

- RA1.-** Conocimiento y comprensión de la Física de Plasmas, con una base lo suficientemente amplia y general para poder abordar sus aplicaciones tanto a la propulsión como a otras áreas de interés aeroespacial.
- RA2.-** Conocimiento y comprensión de los tipos de propulsores más extendidos y su rango de aplicación.

5. PROFESORADO

Departamento: FÍSICA APLICADA A LAS INGENIERÍAS AERONÁUTICA Y NAVAL

Coordinador de la Asignatura: José Javier HONRUBIA CHECA

Profesorado	Correo electrónico	Despacho
HONRUBIA CHECA, José Javier	javier.honrubia@upm.es	
RAMIS ABRIL, Rafael	rafael.ramis@upm.es	

Los horarios de tutorías estarán publicados en (especificar la forma y lugar): Tablón de anuncios del Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval.

6. TEMARIO

BLOQUE TEMÁTICO 1. INTRODUCCIÓN

Tema 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Desarrollo histórico de la propulsión eléctrica. 1.2. Tipos de propulsión eléctrica. 1.3. Propulsores electro-térmicos 1.4. Propulsores electrostáticos. 1.5. Propulsores electromagnéticos. 1.6. Otros tipos de propulsores. 1.7. Empuje, empuje específico y eficiencia.

BLOQUE TEMÁTICO 2. FUNDAMENTOS DE FÍSICA DE PLASMAS

Tema 2. CONCEPTO DE PLASMA. PARÁMETROS FUNDAMENTALES Y PROPIEDADES

2.1. Definición de plasma. Cuasi-neutralidad. 2.2 Plasmas en la naturaleza. 2.3. Apantallamiento de Debye. 2.4. Frecuencia del plasma. 2.5. Parámetros del plasma. 2.6. Comportamiento individual versus comportamiento colectivo.

Tema 3. MOVIMIENTO DE PARTÍCULAS CARGADAS EN CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

3.1. Movimiento en un campo electromagnético uniforme. 3.2. Movimiento en un campo electromagnético general. Derivas por campo eléctrico y magnético. 3.3. Efecto espejo. 3.4. Invariantes adiabáticos.

Tema 4. INTERACCIONES DE LAS PARTICULAS DEL PLASMA

4.1. Dispersión Coulombiana. Sección eficaz de Rutherford. 4.2. Frecuencia de colisiones y tiempo de relajación. 4.3. Conductividades térmica y eléctrica. 4.4. Poder de frenado y deflexión cuadrática media. 4.5. Modelo de difusión continua en el espacio de velocidades. 4.6. Ley de Ohm generalizada. 4.7. Difusión y movilidad con y sin campo magnético.

Tema 5. IONIZACIÓN DEL PLASMA

5.1 Ionización de plasmas en equilibrio termodinámico. Ecuación de Saha. 5.2. Ionización de plasmas fuera del equilibrio. 5.3. Procesos de ionización: ionización por impacto, ionización radiativa, recombinación de tres cuerpos y recombinación radiativa. 5.4. Modelo corona.

Tema 6. VAINAS ELECTROSTÁTICAS

6.1 Plasma en contacto con una pared limite. 6.2. Vainas electrostáticas: potencial flotante, corriente de Bohm, ley de Child-Langmuir. 6.3. Solución generalizada.

Tema 7. DESCRIPCIÓN CINÉTICA DEL PLASMA

7.1. Función de distribución de las partículas del plasma. 7.2. Descripciones microscópica, cinética y fluidodinámica. 7.3. Ecuaciones de movimiento microscópicas. Métodos *Particle-In-Cell*. 7.4. Ecuaciones cinéticas. 7.5. El plasma como fluido: Ecuación de Vlasov. 7.6. Ondas en plasmas: ondas de Langmuir, ondas acústicas, relación de dispersión. Amortiguamiento de Landau. 7.7. Aproximación de gas enrarecido: Ecuación de Boltzmann. 7.8. Aproximación de acoplamiento débil: Ecuación de Fokker-Planck. 7.9. Propiedades del término de colisiones. Teorema H de Boltzmann.

Tema 8. EL PLASMA COMO FLUIDO

8.1. Ecuaciones de la magnetohidrodinámica (MHD). 8.2. Ondas MHD: ondas de Alfvén, ondas magnetosónicas. 8.3. Ecuación de inducción. Conservación del flujo magnético. 8.4. Ecuaciones de Braginskii. Coeficientes de transporte. Efecto Hall.

BLOQUE TEMÁTICO 3. PROPULSIÓN ELÉCTRICA

Tema 9. PROPULSORES ELECTRO-TÉRMICOS

9.1. Propulsores tipo *Resistojet*. 9.2. Propulsores tipo *Arcjet*. 9.3. Modelos para el cálculo del voltaje, potencia y empuje. 9.4. Propulsores de micro-ondas.

Tema 10. PROPULSIÓN ELECTROSTÁTICA

10.1. Generación de plasma. 10.2. Aceleración y extracción de los iones. 10.3. Confinamiento por campos magnéticos. 10.4. Cátodos huecos. 10.5. Modelo unidimensional de aceleración de iones. Cálculo del empuje. 10.6. Tipos de rejillas. Modelos numéricos. Erosión.

Tema 11. MOTORES DE EFECTO HALL

11.1. Fundamentos físicos y leyes de escalado. 11.2. Modelo unidimensional. 11.3. Modelo de Braginskii. 11.4. Oscilaciones. 11.5. Erosión.

Tema 12. MOTORES ELECTROMAGNÉTICOS

12.1. Motores magneto-plasma-dinámicos (MPDT). Motores MPD con campo aplicado (AF-MPDT). 12.2. Motores de plasma pulsado. 12.3. Propulsores tipo *Helicon*. 12.4. Propulsores tipo *VASIMR*. 12.5. Física y operación de las toberas magnéticas. 12.6. Motores de inducción pulsada (PIT).

Tema 13. PROPULSIÓN NUCLEAR

13.1. Generadores isotópicos y reactores nucleares. 13.2. Potencia producida por la desintegración radiactiva. 13.3. Sistemas de conversión de potencia. Conversión termoelectrónica. Conversión dinámica. 13.4. Sistemas utilizados en vuelo.

Semana N°	Actividad presencial en Aula	Actividad presencial en Laboratorio	Otra actividad	Actividad de Evaluación
7	7.1 – 7.3			
8	7.4 – 7.6			
9	7.7 – 7.9			
10	8.1 – 8.2			
11	8.3 – 8.4			Examen tipo test
12	Tema 9			
13	Tema 10			
14	Tema 11			
15	Tema 12			Examen tipo test
16	Tema 13			Presentación de trabajos

b) Actividades formativas.

Actividades formativas	EP	CT	CP	PL	TIE	TP	Otros*
ECTS	1	1	0.5		0.5		

EP: ESTUDIO Y TRABAJO PERSONAL DEL ALUMNO
 CT: CLASES DE TEORÍA
 CP: CLASES DE PROBLEMAS
 PL: PRÁCTICAS DE LABORATORIO
 TIE: TRABAJOS INDIVIDUALES O EN EQUIPO
 TP: TUTORÍAS PROGRAMADAS
 *Otros (especificar):

c) Metodologías Docentes.

Métodos Docentes	LM	PBL	RPA/MC	EIP	PL	Otros*
SI / NO	SI	NO	SI	SI	NO	NO

LM: LECCIÓN MAGISTRAL
 PBL: APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS
 RPA/MC: RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN EL AULA / MÉTODO DEL CASO
 EIP: EXPOSICIÓN DE INFORMES Y PROYECTOS
 PL: PRÁCTICAS DE LABORATORIO
 *Otros (especificar):

7. PLAN DE TRABAJO

a) Cronograma.

Semana N°	Actividad presencial en Aula	Actividad presencial en Laboratorio	Otra actividad	Actividad de Evaluación
1	Tema 1			
2	Tema 2			
3	Tema 3			
4	Tema 4			
5	Tema 5			
6	Tema 6			

8. SISTEMA DE EVALUACIÓN

a) Tribunal de Evaluación.

Presidente:	José Javier HONRUBIA CHECA
Vocal:	Luis CONDE LÓPEZ
Secretario:	Rafael RAMIS ABRIL
Suplente:	Francisco Javier SANZ RECIO

b) Actividades de Evaluación.

Semana N°	Descripción	Tipo Evaluación	Técnica Evaluativa	Duración	Peso	Nota mínima	Competencias
11	Examen de Física de Plasmas		Examen tipo test	1 hora	0.33	4	RA1
15	Examen de métodos de propulsión eléctrica		Examen tipo test	1 hora	0.33	4	RA2
16	Presentación trabajos individuales		Presentación oral	15 minutos	0.33	--	CG12, CG14, CT4

c) Criterios de Evaluación.

La evaluación de los alumnos se realizará mediante exámenes de tipo test y la presentación de trabajos individuales. La asistencia a clase es obligatoria. Alternativamente, cada alumno podrá optar a un examen final, en cuyo caso, la calificación de la asignatura será calificación obtenida en ese examen. En cualquier caso, será necesaria una calificación numérica igual o superior a **5** (sobre **10**) para aprobar la asignatura.

Los exámenes consistirán en cuestiones de contenido teórico y/o problemas que evalúen los resultados de aprendizaje indicados (RA1 - 2) y versarán sobre aquellos contenidos específicos tratados en las lecciones magistrales (LM) e ilustrados en las clases de problemas (RPA).

10. OTRA INFORMACIÓN**9. RECURSOS DIDÁCTICOS**

Descripción	Tipo	Observaciones
F.F. Chen, <i>Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion</i> , Vol. 1, New York: Plenum Press (1984).	Bibliografía	
R.J. Goldston and P.H. Rutherford, <i>Introduction to Plasma Physics</i> , Bristol, U.K., Institute of Physics Publishing (2003).	Bibliografía	
S. Ichimaru, <i>Basic Principles of Plasma Physics: A Statistical Approach</i> , Reading, Mass., W.A. Benjamin (1973).	Bibliografía	
S.I. Braginskii, <i>Reviews of Plasma Physics</i> , Volume 1. Edited by M. A. Leontovich. Published by Consultants Bureau, New York, 1969, p.205	Bibliografía	
D.M. Goebel and I. Katz, <i>Fundamentals of Electric Propulsion</i> , Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology (2008).	Bibliografía	
E. Ahedo, <i>Plasmas for Space Propulsion</i> , Plasma Physics and Controlled Fusion 53 , 124037 (2011).	Bibliografía	Artículo
M. Martínez-Sánchez, <i>Space Propulsion</i> , MIT OpenCourseWare, (2004).	Bibliografía	Curso