

Asignatura: **Mecánica del Vuelo**

Código: 10-09314	RTF	7
Semestre: Octavo	Carga Horaria	72 Hs
Bloque: Tecnologías Aplicadas	Horas de Práctica	

Departamento: Aeroespacial

Correlativas:

- Aerodinámica 1
- Teoría del Control

Contenido Sintético:

- Ecuaciones generales del avión.
- Performances del avión.
- Estabilidad Estática Longitudinal.
- Estabilidad Dinámica Longitudinal.
- Estabilidad Estática Lateral-direccional.
- Estabilidad Dinámica Lateral-direccional.

Competencias Genéricas:

CG 1. Competencia para identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.  
CG 2. Competencia para concebir, diseñar y desarrollar proyectos de ingeniería (sistemas, componentes, productos o procesos).  
CG 3. Competencia para gestionar, planificar, ejecutar y controlar proyectos de ingeniería (sistemas, componentes, productos o procesos).  
CG 7. Competencia para comunicarse con efectividad.

Aprobado por HCD: NNNN-HCD-AAAA

RES: Fecha: DD/MM/AAAA

### Competencias Específicas:

CE1 D: Competencia para analizar la performance, la operación en distintas condiciones y todo lo referente a la mecánica de vuelo de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.

CE1 E: Competencia para calcular, diseñar, proyectar y construir plantas propulsoras principales y auxiliares motores alternativos, reacción, cohetes, compresores, cámaras de combustión, turbinas, hélices de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.

CE1 G: Competencia para diseñar y proyectar la realización del sistema de navegación, guiado y control de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.

CE1 H: Competencia para diseñar y proyectar los principales parámetros de diseño aeroportuario y de bases aeroespaciales, en todo aquello que afecte la operación y el funcionamiento de una máquina de vuelo y/o sus equipos, rutas y líneas de transporte aéreo.

CE1 I: Competencia para diseñar, proyectar y ensayar los principales parámetros pertinentes a laboratorios de ensayos y calibraciones de equipos aplicados a las aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.

CE2 A: Competencia para proyectar, dirigir y controlar la construcción, operación y mantenimiento de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.

CE3 A: Competencia para certificar el funcionamiento, condición de uso o estado y aptitud para el vuelo de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.

CE4 A: Competencia para proyectar y dirigir lo referido a la higiene y seguridad en el campo aeroespacial.

# Presentación

La asignatura Mecánica del Vuelo comprende el estudio del movimiento de los aviones bajo la acción de fuerzas aerodinámicas, de inercia y de propulsión, a fin de desarrollar los conocimientos y habilidades que permitan la comprensión y cálculo de las características de performance, estabilidad y dinámica de vehículos aeroespaciales. Son objetivos de la asignatura el dominio de las ecuaciones generales que describen el movimiento de los vehículos aéreos, las hipótesis empleadas, las particularizaciones a distintos regímenes de vuelo y la definición de los distintos sistemas de referencia utilizados. En base a estos fundamentos se trata la evaluación de la performance de aviones de ala fija en vuelo atmosférico, haciendo especial énfasis en las limitaciones propias del vuelo debido a factores aerodinámicos y propulsivos, el análisis y la estimación de condiciones de vuelo óptimas, considerando tanto condiciones de vuelo en equilibrio como vuelos en maniobra.

En una segunda parte la asignatura concierne la aplicación de los conceptos y problemas del control aerodinámico en condición de vuelo estacionario, abordando los mismos desde el punto de vista de la estabilidad estática del movimiento longitudinal y lateral-direccional. La introducción al estudio de las cualidades del vuelo, las cuales son abordadas mediante las metodologías analíticas de la estabilidad dinámica longitudinal y latero-direccional. La influencia de las derivadas de estabilidad aerodinámicas en las cualidades del vuelo, son caracterizadas mediante el estudio de la respuesta del movimiento estacionario ante pequeñas perturbaciones.

Se destaca la importancia que desempeña la Mecánica del Vuelo en la currícula de Ingeniería Aeronáutica, considerando que es el área de conocimiento que aborda el problema del manejo y control de vehículos aeroespaciales, utilizando diversos conocimientos y habilidades que se obtienen a lo largo del cursado de las distintas asignaturas de la carrera.

## Contenidos

### **Unidad I. Ecuaciones generales de movimiento.**

Sistemas de referencia. Ecuaciones de movimiento. Linealización y desacoplamiento de las ecuaciones de movimiento. Modelado de fuerzas y momentos.

### **Unidad II. Performances del avión.**

Ecuaciones del movimiento simétrico. Modelado de las fuerzas aerodinámicas y propulsivas. Vuelo nivelado estacionario. Envoltente de vuelo. Alcance y autonomía. Vuelo en descenso y trepada. Performance en maniobra. Performance de despegue y aterrizaje.

### **Unidad III. Estabilidad estática longitudinal.**

Ecuaciones y características del equilibrio longitudinal. Contribución de los componentes. Equilibrio longitudinal con mando fijo y mando libre. Control longitudinal para vuelo nivelado y vuelo en maniobra.

### **Unidad IV. Estabilidad estática latero-direccional.**

Ecuaciones y características del equilibrio direccional. Control direccional: ángulo del timón de dirección, fuerza en el mando. Ecuaciones de movimiento del equilibrio en rolido.

Contribución de los componentes del avión al equilibrio en rolo. Control lateral: potencia del control lateral, fuerza en el mando.

#### **Unidad V Estabilidad dinámica longitudinal.**

Características aerodinámicas longitudinales, derivadas de estabilidad. Solución analítica de las ecuaciones del movimiento longitudinal. Parámetros y modos de movimiento característicos.

#### **Unidad VI Estabilidad dinámica latero-direccional.**

Características aerodinámicas latero-direccionales, derivadas de estabilidad. Solución analítica de las ecuaciones del movimiento latero-direccional. Parámetros y modos de movimiento característicos.

## **Metodología de enseñanza**

El sistema de enseñanza será de carácter teórico-práctico, con preeminencia del método deductivo, promoviendo la participación de los estudiantes durante las clases. Se desarrollarán clases teórico-prácticas mediante la exposición dialogada empleando como materiales didácticos proyecciones, pizarrón, exposición y discusión de ejemplos, y aquellos que se consideren útiles para alcanzar los objetivos de la asignatura.

La aprehensión de los conceptos teóricos se llevará a cabo mediante la resolución de problemas, y la realización de un Trabajo Integrador Grupal (TIG) que involucra tanto la aplicación de los modelos físico-matemáticos vistos en la asignatura aplicadas al estudio de la Performance y Mecánica del Vuelo de una aeronave subsónica designada por la cátedra.

Se promoverá la consulta independiente y guiada de bibliografía especializada, reportes y otras fuentes que fueran necesarias y el empleo y/o desarrollo de herramientas computacionales para la resolución numérica de los problemas presentados y del TIG. Actualmente se pueden citar lenguajes de programación como Python, C++, Matlab/Simulink, Fortran, entre los cuales se disponen librerías y software con aplicabilidad en problemas de Mecánica del Vuelo.

La formación teórica, la participación de estudiantes en clase y las actividades prácticas se orientan a que el estudiante desarrolle capacidades en el análisis de la performance y mecánica de vuelo de aeronaves de ala fija. Se tratan asimismo mediante las mencionadas actividades, temas concernientes al diseño y proyección de parámetros de diseño aeroportuario, así como el análisis, cálculo y evaluación de sistemas de navegación, guiado y control de aeronaves.

En cuanto a la contribución a las competencias generales sociales, se considera que la realización del TIG aporta al desempeño en equipos de trabajo, a la comunicación con efectividad tanto escrita como oral de los resultados alcanzados y al aprendizaje continuo, mediante la consulta de bibliografía especializada tanto en forma guiada como autónoma.

# Evaluación

La evaluación los alumnos en el curso de Mecánica del Vuelo se efectuará de dos maneras complementarias:

1. Mediante 2 (dos) evaluaciones parciales escritas, de carácter teórico-práctico, durante el semestre. Serán calificadas de 0 a 10, en la cual la aprobación (condición de suficiente) merecerá 4 o más puntos, salvo que la FCEFyN o la UNC indiquen otro criterio. Cada una de las evaluaciones tendrá una duración aproximada de 120 (ciento veinte) minutos, y consistirán en desarrollo de temas del programa analítico, conjuntos de preguntas y/o resolución de problemas, según amerite el tema. El peso relativo de cada punto será dado a conocer al comienzo de la evaluación. Los alumnos que resulten aplazados hasta en una (1) evaluación parcial podrán recuperarla al final del curso.

2. Mediante la realización de un Trabajo Grupal Integrador (TIG) desarrollado en equipo, se formarán grupos de 3 ó 4 alumnos, cuya composición será fijada por la Cátedra al comienzo del período lectivo, y la presentación de una defensa oral integradora. De la evaluación del TIG resultará una calificación grupal y una calificación individual, de 0 a 10, en la cual la aprobación (condición de suficiente) merecerá 4 o más puntos, salvo que la FCEFyN o la UNC indiquen otro criterio. La calificación grupal se basará en la evaluación de la entrega de los informes escritos, en tanto la calificación individual se basará en la defensa oral del TIG.

La nota final (NF) se calculará como:

$$NF = 0.5 * NP + 0.25 * NIE + 0.25 * NDO$$

donde NP: nota de los parciales; NIE: nota del informe escrito del TIG de carácter grupal; NDO: nota defensa oral del TIG de carácter individual.

## Condiciones de aprobación

### Condición de regularidad

La materia se considerará regularizada cuando el alumno cumpla las siguientes condiciones:

- Acreditar la asistencia al 80% de las clases.
- Aprobar con calificación de suficiente o mayor las dos evaluaciones parciales teórico-prácticas (la nota de la evaluación recuperatoria suplantaré la del parcial reprobado).
- Aprobar con calificación de suficiente o mayor el informe escrito del Trabajo Integrador Grupal.

### Condición de promoción

La materia se considerará promocionada cuando el alumno cumpla las siguientes condiciones:

- Alcanzar la condición de Regularidad.
- Aprobar con calificación de suficiente o mayor la defensa oral del Trabajo Integrador Grupal.

### **Condiciones de aprobación**

Los alumnos que hayan accedido a la regularidad y no hayan alcanzado la condición de promoción deberán rendir un examen teórico-práctico en las fechas y condiciones decididas por el HCD de la FCEFYN.

La regularidad tendrá validez por el plazo determinado por las reglamentaciones de la FCEFYN y la UNC.

La condición de promoción implica la condición de aprobación de la asignatura.

### **Condiciones especiales para el Régimen de Alumno Trabajador**

Los alumnos que acrediten pertenecer al Régimen de Alumno Trabajador serán relevados de la asistencia a clase, debiendo cumplir el resto de las actividades académicas (parciales, presentación y defensa de Trabajos Prácticos y TIG), excepto que la UNC defina otro procedimiento para estos casos. La Cátedra ofrecerá la guía didáctica a estos alumnos a través del Laboratorio de Educación Virtual o los canales de comunicación virtual que se consideren convenientes.

## **Actividades prácticas y de laboratorio**

El TIG comprende actividades prácticas referidos a la mecánica del vuelo de un avión de ala fija subsónico designado al comienzo de la cursada por la Cátedra. Se identifican los siguientes tres bloques temáticos a tratar en el TIG:

- Performances del avión. Obtención y análisis de la envolvente de vuelo: limitaciones aerodinámicas y de potencia. Obtención y análisis de la performance en vuelo crucero: alcance y autonomía. Obtención y análisis de la performance en altura para vuelo en trepada y en una maniobra de giro coordinado. Obtención y análisis de la performance en la operación de despegue y aterrizaje. Limitaciones operativas y cumplimiento de normas de aeronavegabilidad según corresponda.
- Estabilidad estática. Obtención y análisis de las características de estabilidad estática del movimiento longitudinal y lateral-direccional. Obtención y análisis de las características e influencia de las superficies de control aerodinámicas. Limitaciones operativas y cumplimiento de normas de aeronavegabilidad según corresponda.
- Estabilidad dinámica. Obtención y análisis de la respuesta del movimiento longitudinal y lateral-direccional de pequeñas perturbaciones. Influencia de las distintas condiciones operativas.

## **Desagregado de competencias y resultados de aprendizaje**

Los resultados del aprendizaje esperados concernientes a las capacidades para las cuales aporta la asignatura son:

CG1. Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.

RA1. Comprender y resolver los problemas asociados al cálculo y análisis de performance, estabilidad y dinámica de un vehículo aéreo o espacial.

RA2. Identificar el alcance y limitaciones de los modelos físico-matemáticos empleados para lo anterior.

RA3. Ser capaz de interpretar los resultados obtenidos del análisis de lo anterior.

CG2. Concebir, diseñar y desarrollar proyectos de ingeniería (sistemas, componentes, productos o procesos).

RA1. Ser capaz de modelar numéricamente el vuelo de un avión, de acuerdo al estado del arte.

RA2. Ser capaz de interpretar los resultados obtenidos del análisis de lo anterior.

CG7. Comunicarse con efectividad.

RA1. Elaborar documentación técnica escrita de forma adecuada para la comprensión y verificación por pares.

RA2. Presentar oralmente, en forma eficaz y fluida, los resultados de su trabajo, argumentando el proceso racional seguido.

CE1 D: Analizar la performance, la operación en distintas condiciones y todo lo referente a la mecánica de vuelo de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.

RA1. Comprender y analizar las ecuaciones de movimiento del vuelo simétrico y el modelado de las fuerzas aerodinámicas y propulsivas presentes en el vuelo atmosférico de aeronaves de ala fija.

RA2. Analizar y evaluar los modelos que permiten obtener el alcance y autonomía en aeronaves de ala fija.

RA3. Calcular y evaluar la influencia de las distintas condiciones operativas en el alcance.

CE1 E: Calcular, diseñar, proyectar y construir plantas propulsoras principales y auxiliares motores alternativos, reacción, cohetes, compresores, cámaras de combustión, turbinas, hélices de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.

RA1. Comprender e identificar la influencia de los parámetros aerodinámicos y las condiciones de vuelo en cuanto a los requerimientos de potencia de la planta motora en aeronaves de ala fija.

CE1 G: Diseñar y proyectar la realización del sistema de navegación, guiado y control de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo. Identificar, comparar y relacionar los sistemas de referencia referidos a la descripción de la ubicación y orientación de vehículos aéreos.

RA1. Comprender la derivación de las ecuaciones de movimiento, la descripción de las relaciones cinemáticas y otros fundamentos básicos en el desarrollo de sistemas de navegación, guiado y control de aeronaves.

RA2. Comprender y analizar las condiciones de estabilidad aerodinámica de la aeronave y su relación con el sistema de control y condiciones operativas.

CE1 H: Competencia para diseñar y proyectar los principales parámetros de diseño aeroportuario y de bases aeroespaciales, en todo aquello que afecte la operación y el funcionamiento de una máquina de vuelo y/o sus equipos, rutas y líneas de transporte aéreo.

RA1. Comprender las ecuaciones de movimiento durante la operación de despegue y aterrizaje de aeronaves de ala fija.

RA2. Calcular y evaluar las distancias requeridas para la operación de despegue y aterrizaje a partir de lo anterior considerando las normas de aeronavegabilidad que correspondan.

CE1 I: Competencia para diseñar, proyectar y ensayar los principales parámetros

pertinentes a laboratorios de ensayos y calibraciones de equipos aplicados a las aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.

CE2 A: Competencia para proyectar, dirigir y controlar la construcción, operación y mantenimiento de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.

CE3A: Competencia para certificar el funcionamiento, condición de uso o estado y aptitud para el vuelo de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.

RA1. Determinar el cumplimiento de normas de aeronavegabilidad en lo que a performance, capacidad de control y cualidades de vuelo se refiere.

CE4A: Competencia para proyectar y dirigir lo referido a la higiene y seguridad en el campo aeroespacial.

La valoración en la evaluación se realiza de acuerdo al siguiente criterio de acuerdo al nivel de alcance esperado de los resultados del aprendizaje:

Nivel 1: Insuficiente	Nivel 2: Regular
<p>Presenta dificultades notorias en la interpretación de los resultados obtenidos. No es capaz de identificar los fundamentos básicos empleados en los modelos físico-matemáticos aplicados. Expresa desconocimiento de las condiciones y/o restricciones operativas pertinentes. La calidad de su expresión escrita es baja. Presenta dificultades notorias en su expresión oral.</p>	<p>Presenta dificultades en la interpretación de los resultados obtenidos. Si bien es capaz de identificar algunas veces los fundamentos básicos empleados en los modelos físico-matemáticos aplicados comete varias veces errores en su interpretación y/o aplicación. Expresa ocasionadas veces desconocimiento de las condiciones y/o restricciones operativas pertinentes. La calidad de su expresión escrita es regular. Presenta algunas dificultades en su expresión oral.</p>
Nivel 3: Bueno	Nivel 4: Muy bueno
<p>No presenta mayores dificultades en la interpretación de los resultados obtenidos. Es capaz de identificar e interpretar correctamente los fundamentos básicos empleados en los modelos físico-matemáticos aplicados en la mayoría de los casos. Expresa un conocimiento suficiente de las condiciones y/o restricciones operativas pertinentes. La calidad de su expresión oral y escrita es buena.</p>	<p>Interpreta correctamente en todos los casos los resultados obtenidos. Es capaz de identificar e interpretar correctamente en todos los casos los fundamentos básicos empleados en los modelos físico-matemáticos aplicados. Expresa un muy buen conocimiento de las condiciones y/o restricciones operativas pertinentes. La calidad de su expresión oral y escrita es muy buena.</p>

Los instrumentos de evaluación correspondientes a los resultados de aprendizaje evaluados en las competencias pertinentes a la asignatura se presentan en la siguiente rúbrica.

Competencia	Resultado de Aprendizaje	Instrumento de Evaluación Mínimo Esperado: Nivel 3 (Bueno)		
		Parciales	Trabajo Integrador Grupal Informe Escrito	Trabajo Integrador Grupal Defensa Oral
CG1	RA1	X	X	
	RA2		X	X
	RA3	X	X	X
CG2	RA1		X	
	RA2		X	X
CG7	RA1		X	
	RA2			X
CE1 D	RA1		X	
	RA2	X	X	X
	RA3	X	X	X
	RA4		X	X
CE1 E	RA1	X	X	X
CE1 G	RA1	X		
	RA2		X	X
CE1 H	RA1	X		X
	RA2	X	X	
CE2 A				
CE3 A	RA1		X	

## Bibliografía

Schmidt, D. K. (2023), "Modern flight dynamics", AIAA Education Series.

Stengel, R. F. (2022), "Flight dynamics", Princeton University Press.

Irving, F. G. (2014) "An introduction to the longitudinal static stability of low-speed aircraft", Elsevier.

Cook, M. V. (2013), "Flight dynamics principles: a linear systems approach to aircraft stability and control", Elsevier.

Hull, D. (2007), "Fundamentals of airplane flight mechanics", Springer.

Etkin, B. (2005), "Dynamics of atmospheric flight", Dover Publications.

Eshelby, M. E. (2000), "Aircraft performance: Theory and practice" AIAA Education Series.

Mair, M. A and Birdsall, D. L. (1992), "Aircraft performance", Cambridge University Press.