



## Guia docent

# 220301 - 220301 - Aerodinàmica, Mecànica de Vol i Orbital

Última modificació: 22/04/2022

**Unitat responsable:** Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa  
**Unitat que imparteix:** 220 - ETSEIAT - Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa.  
**Titulació:** MÀSTER UNIVERSITARI EN ENGINYERIA AERONÀUTICA (Pla 2014). (Assignatura obligatòria).  
**Curs:** 2022      **Crèdits ECTS:** 7.5      **Idiomes:** Català, Castellà

### PROFESSORAT

---

**Professorat responsable:** Josep Oriol Lizandra i Dalmases

**Altres:** Manel Soria Guerrero  
Jaume Calaf Zayas

### CAPACITATS PRÈVIES

---

Les mateixes que se suposa l'estudiant ha demostrat en el grau previ que li ha donat accés al MUEA, d'acord amb la normativa establerta per la UPC.

### REQUISITS

---

Donat que és una assignatura de primer curs, no es defineixen requisits específics, tret d'aquelles assignatures que se suposa l'estudiant ja ha cursat en el grau previ que li ha donat accés al MUEA, d'acord amb la normativa establerta per la UPC.

### COMPETÈNCIES DE LA TITULACIÓ A LES QUALS CONTRIBUEIX L'ASSIGNATURA

---

#### Específiques:

CE03. MUEA/MASE: Comprensió i domini de les lleis de la Aerodinàmica Extern als diferents règims de vol, i aplicació de les mateixes a la Aerodinàmica Numèrica i Experimental.

CE05. MUEA/MASE: Comprensió i domini de la mecànica del vol atmosfèric (Actuacions i Estabilitat i Control Estàtics i Dinàmics), i de la mecànica Orbital i Dinàmica d'Actitud.

CE12. MUEA/MASE: Coneixement adequat de Mecànica de Fluids Avançada, amb especial incidència en les tècniques experimentals i numèriques utilitzades en la mecànica de fluids.

CG09-MUEA. Competència en totes aquelles àrees relacionades amb les tecnologies aeroportuàries, aeronàutiques o espacials que, per la seva naturalesa, no siguin exclusives d'altres branques de l'enginyeria.

#### Bàsiques:

CB06. Posseir i comprendre coneixements que aportin una base o oportunitat de ser originals en el desenvolupament i / o aplicació d'idees, sovint en un context de recerca.

CB08. Que els estudiants siguin capaços d'integrar coneixements i enfrontar-se a la complexitat de formular judicis a partir d'una informació que, sent incompleta o limitada, inclogui reflexions sobre les responsabilitats socials i ètiques vinculades a l'aplicació dels seus coneixements i judicis.

CB09. Que els estudiants sàpiguen comunicar les seves conclusions i els coneixements i raons últimes que les sustenten a públics especialitzats i no especialitzats d'una manera clara i sense ambigüitats.

CB10. Que els estudiants tinguin les habilitats d'aprenentatge que els permetin continuar estudiant d'una manera que haurà de ser en gran mesura autodirigida o autònoma.

## METODOLOGIES DOCENTS

La metodologia docent es divideix en tres parts:

- Sessions presencials d'exposició - participació dels continguts i realització d'exercicis.
- Sessions presencials de treball de laboratori.
- Treball autònom d'estudi i realització d'exercicis i activitats.

En les sessions d'exposició -participació dels continguts, el professorat introduirà les bases teòriques de la matèria, conceptes, mètodes i resultats il·lustrant-los amb exemples convenients i sol·licitant, si escau, la realització d'exercicis per facilitar-ne la seva comprensió.

En les sessions de treball de laboratori, el professorat guiarà l'estudiantat en l'aplicació dels conceptes teòrics per a la resolució d'exercicis, fonamentant en tot moment el raonament crític.

L'estudiantat, de forma autònoma, ha de treballar el material proporcionat pel professorat i el resultat de les sessions de treball-problemes per tal d'assimilar i fixar els conceptes. El professorat proporcionarà un pla d'estudi i de seguiment d'activitats (ATENEA).

## OBJECTIUS D'APRENTATGE DE L'ASSIGNATURA

En acabar l'assignatura l'estudiant o estudianta ha de:

- Conèixer les tècniques numèriques bàsiques pel càlcul de fluxos no viscosos i incompressibles al voltant de perfils i ales.
- Conèixer les tècniques utilitzades en aerodinàmica experimental.
- Entendre com els efectes de compressibilitat de l'aire a alta velocitat de vol influeixen en l'aerodinàmica i el funcionament de la planta motriu dels avions.
- Veure que es poden obtenir resultats qualitius (i fins a cert punt, també quantitius) interessants del comportament dinàmic de l'avió, plantejant equacions diferencials linealitzades, considerant les petites perturbacions respecte un estat de referència de moviment estacionari.
- Comprendre que, sota les hipòtesis de la linealització, es pot desacoblar el moviment longitudinal del moviment lateral.
- Entendre com la geometria, configuració i distribució massica de l'avió afecta a les derivades d'estabilitat longitudinals i laterals de l'avió.
- Saber calcular els modes corresponents al moviment lliure longitudinal i lateral, i entendre com les derivades d'estabilitat i altres paràmetres de l'avió influeixen en el comportament dinàmic d'aquest.
- Saber aplicar la teoria de control clàssica a problemes de dinàmica de vol, en especial, en particular els modes (lleis de pilotatge) més habituals utilitzats en avions comercials.
- Entendre com els paràmetres del controlador afecten a la resposta dinàmica de l'avió, i que elegint convenientment aquests paràmetres es pot obtenir una resposta òptima, atenent aspectes diversos, com precisió, rapidesa i estabilitat de la resposta, confort, etc.
- Conèixer els diferents sistemes de coordenades celestes i els plans fonamentals, així com les diferents escales de temps.
- Dominar els aspectes del moviment keplerià, els elements orbitals i el càlcul d'efemèrides.
- Conèixer les maniobres bàsiques pels canvis d'òrbita de vehicles espacials al voltant de la Terra.
- Comprendre les bases del mètode d'ajust de còniques ("patched conic procedure"), i dels viatges a la Lluna o els interplanetaris.

## HORES TOTALS DE DEDICACIÓ DE L'ESTUDIANTAT

Tipus	Hores	Percentatge
Hores grup gran	45,0	24.00
Hores grup petit	22,5	12.00
Hores aprenentatge autònom	120,0	64.00

**Dedicació total:** 187.5 h



## CONTINGUTS

### Mòdul 1: Introducció a l'aerodinàmica numèrica i experimental

#### Descripció:

Introducció a la solució numèrica de les equacions de Navier-Stokes:

- Revisió de les equacions de Navier-Stokes incompressibles.
- Aspectes matemàtics rellevants per a la seva solució numèrica.
- Validació i verificació de codis CFD.
- Mètode de volums de control finits.
- Malla staggered.
- Tractament dels termes advection i difusiu.
- Tractament de l'acoblament pressió-velocitat.
- Algorismes d'integració temporal.

Aerodinàmica potencial:

- Repàs de definicions i conceptes d'aerodinàmica de perfils i ales.
- Tècniques numèriques per a perfils en règim incompressible: mètodes de panells
- Tècniques numèriques per a ales en règim incompressible: línia sustentadora i superfície sustentadora.
- Aerodinàmica de perfils i ales en règim subsònic alt i supersònic.

#### Activitats vinculades:

Treball/s en grup i, possiblement, també en l'examen parcial.

**Dedicació:** 93h 40m

Grup gran/Teoria: 22h 30m

Grup petit/Laboratori: 11h 10m

Aprenentatge autònom: 60h

### Mòdul 2: Estabilitat i resposta dinàmica d'avions.

#### Descripció:

Generalitats:

- Equacions generals del moviment de l'avió com a sòlid rígid.
- Linealització de les equacions del moviment, respecte una condició de referència.
- Separació del moviment longitudinal i lateral.

Estabilitat i control dinàmic del moviment longitudinal:

- Derivades d'estabilitat longitudinals.
- Estabilitat dinàmica del moviment lliure longitudinal. Sistemes complet i aproximat.
- Resposta dinàmica longitudinal en llaç obert.

Estabilitat i control dinàmic del moviment lateral:

- Derivades d'estabilitat lateral-direccional.
- Estabilitat dinàmica del moviment lliure lateral. Sistemes complet i aproximat.
- Resposta dinàmica lateral en llaç obert.

Introducció al vol automàtic:

- Modes longitudinals.
- Modes laterals.

#### Objectius específics:

N/A

#### Activitats vinculades:

Treball en grup i/o en l'examen final.

**Dedicació:** 46h 55m

Grup gran/Teoria: 11h 15m

Grup petit/Laboratori: 5h 40m

Aprenentatge autònom: 30h



### Mòdul 3: Mecànica Orbital

**Descripció:**

- Sistemes de referència per a l'espai. Escales de temps.
- Moviment keplerian i elements orbitals.
- Determinació de les òrbites.
- Pertorbacions de les òrbites.
- Satèl·lits al voltant de la Terra.
- Maniobres orbitals bàsiques.
- Trajectòries a la Lluna i interplanetàries.

**Activitats vinculades:**

Treball en grup i, possiblement, en l'examen final.

**Dedicació:** 46h 55m

Grup gran/Teoria: 11h 15m

Grup petit/Laboratori: 5h 40m

Aprenentatge autònom: 30h

## ACTIVITATS

### Teoria

**Dedicació:** 40h

Grup gran/Teoria: 40h

### Pràctiques

**Dedicació:** 22h 30m

Grup petit/Laboratori: 22h 30m

### Activitat 1: Examen parcial

**Descripció:**

Preguntes teòriques curtes i/o test.

**Objectius específics:**

N/A

**Material:**

N/A

**Lliurament:**

N/A

**Dedicació:** 2h 30m

Grup gran/Teoria: 2h 30m



### Activitat 2: Examen final

**Descripció:**

Preguntes teòriques curtes i/o test.

**Objectius específics:**

N/A

**Material:**

N/A

**Lliurament:**

N/A

**Dedicació:** 2h 30m

Grup gran/Teoria: 2h 30m

### Activitat 3: Treball en grup

**Descripció:**

Relacionat amb els continguts del mòdul 1.

**Objectius específics:**

N/A

**Material:**

N/A

**Lliurament:**

N/A

**Dedicació:** 30h

Aprenentatge autònom: 30h

### Activitat 4: Treball en grup.

**Descripció:**

Relacionat amb els continguts dels mòduls 1 i/o 3.

**Objectius específics:**

N/A

**Material:**

N/A

**Lliurament:**

N/A

**Dedicació:** 60h

Aprenentatge autònom: 60h



### Activitat 5: Treball en grup

**Descripció:**

Relacionat amb els continguts del Mòdul 3

**Objectius específics:**

N/A

**Material:**

N/A

**Lliurament:**

N/A

**Dedicació:** 30h

Aprenentatge autònom: 30h

## SISTEMA DE QUALIFICACIÓ

La nota final es calcularà d'acord amb la següent expressió:

$$N\_FINAL = 0.14 * NP1 + 0.14 * NP2 + 0.18 * NA1 + 0.36 * NA2 + 0.18 * NA3$$

On NP1 i NP2 són les notes del primer i segon parcial, respectivament, i NA1, NA2, i NA3 corresponen a les notes de cadascun dels treballs en grup.

## NORMES PER A LA REALITZACIÓ DE LES PROVES.

N/A

## BIBLIOGRAFIA

**Bàsica:**

- Ashley, Holt. Engineering analysis of flight vehicles. New York: Dover, 1992. ISBN 0486672131.
- Etkin, B.; Reid, Ll. D. Dynamics of flight: stability and control. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 1996. ISBN 0471034185.
- Anderson, John D. Fundamentals of aerodynamics. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2011. ISBN 9780073398105.
- Chobotov, Vladimir A. Orbital mechanics. 3rd ed. Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2002. ISBN 1563475375.
- Anderson, John D. Introduction to flight. 7th ed. New York: McGraw-Hill, 2012. ISBN 9780073380247.

**Complementària:**

- Miele, Angelo. Flight mechanics. Vol. 1, theory of flight paths. Reading, Massachusetts [etc]: Addison Wesley, 1962.
- Abzug, M. J.; Larrabee, E. E. Airplane stability and control: a history of the technologies that made aviation possible. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. ISBN 0521809924.
- Abzug, M. J. Computational flight dynamics. Reston: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1998. ISBN 1563472597.