



Estudi pel desenvolupament d'una metodologia d'aprenentatge basat en projectes a l'assignatura de Disseny d'Avions

Document:
Memòria

Autor:
Jaume Giol Pozo

Directora:
Ester Comellas Sanfeliu

Titulació:
Grau en Enginyeria en Tecnologies Aeroespacials

Convocatòria:
Pròrroga primavera, 2022.

TREBALL DE FI D'ESTUDIS

Resum

En aquest treball de fi de grau es presenta una proposta detallada per canviar la metodologia docent de l'assignatura de Disseny d'Avions, impartida en el grau d'Enginyeria en Vehicles Aeroespacials de l'ESEIAAT, UPC. L'objectiu principal, doncs, és afavorir la participació activa dels alumnes durant el procés d'aprenentatge a través d'una metodologia d'aprenentatge basat en projectes (*Project-Based Learning*, PBL).

En primer lloc, s'ha dut a terme una recerca exhaustiva sobre les característiques de l'aprenentatge basat en projectes, el qual s'ha definit com un mètode d'ensenyament en què els estudiants aprenen participant activament en projectes del món real i personalment significatius. A través d'aquesta recerca, s'ha pogut constatar que el PBL millora el rendiment acadèmic dels alumnes, ja que augmenta la seva motivació i implicació en les sessions lectives. També, és un mètode que potencia diverses habilitats socials com el treball en equip o la cooperació entre grups de treball, molt lligat amb el concepte d'aprenentatge cooperatiu (*cooperative learning*). Finalment, s'han analitzat algunes experiències PBL dutes a terme en assignatures de l'àmbit aeroespacial en diferents graus universitaris, en què els resultats obtinguts són generalment satisfactoris.

Tenint tot això en compte, s'ha optat per implementar una nova metodologia docent per a l'assignatura Disseny d'Avions que incorpori algunes característiques de l'aprenentatge basat en projectes. Així doncs, s'han planificat les sessions lectives corresponents a la primera meitat de l'assignatura i s'ha generat el material docent necessari per tal que els estudiants puguin assolir els objectius de la matèria. D'aquesta manera, s'han elaborat qüestionaris previs a les sessions i s'ha redactat un treball de referència que servirà com a model a l'hora de fer el disseny conceptual de l'avió.

Per últim, es conclou que la proposta elaborada permetrà replantejar l'assignatura de Disseny d'Avions a través d'una metodologia que incorpori característiques del PBL, que millori la qualitat docent de la matèria i que incrementi la implicació dels alumnes en el procés d'aprenentatge.

Abstract

This bachelor final thesis presents a detailed proposal to change the teaching methodology of the Airplane Design subject, taught in the Aerospace Vehicle Engineering degree at ESEIAAT, UPC. The main objective, therefore, is to encourage the active participation of students during the learning process through a Project-Based Learning (PBL) methodology.

Firstly, extensive research has been carried out on the characteristics of PBL, which has been defined as a teaching method in which students learn by actively participating in real-world, personally meaningful projects. This research confirms that PBL improves students' academic performance, increasing their motivation and involvement in the teaching sessions. PBL is also a method that strengthens various social skills such as teamwork and cooperation between work groups, closely linked to the concept of cooperative learning. Finally, some PBL experiences carried out in aerospace subjects in different university degrees have been analysed, in which the results obtained are generally satisfactory.

Taking all this into account, a new teaching methodology has been elaborated for the subject Airplane Design that incorporates some of the characteristics of PBL. Thus, the teaching sessions corresponding to the first half of the course have been planned and the necessary teaching material has been generated so that students can achieve the objectives of the subject. In this way, questionnaires have been prepared in order to be done prior to the sessions and a reference work has been made to serve as a model for the conceptual design of the airplane.

Finally, it is concluded that the proposal developed will allow the Airplane Design subject to be rethought through a methodology that incorporates PBL characteristics, improving the teaching quality of the subject and increasing student involvement in the learning process.



Índex

| | |
|---|-----------|
| RESUM..... | I |
| ABSTRACT..... | II |
| ÍNDEX..... | III |
| ÍNDEX DE TAULES..... | V |
| ÍNDEX DE FIGURES..... | VI |
| LLISTA D'ABREVIATURES..... | VII |
| 1 INTRODUCCIÓ..... | 1 |
| 1.1 OBJECTE..... | 1 |
| 1.2 ABAST..... | 1 |
| 1.3 REQUERIMENTS..... | 3 |
| 1.4 JUSTIFICACIÓ..... | 3 |
| 2 ANTECEDENTS I REVISIÓ DE L'ESTAT DE LA QÜESTIÓ..... | 5 |
| 2.1 QUÈ ÉS EL PBL I PER QUÈ POT RESULTAR ÚTIL..... | 5 |
| 2.2 ÚS D'UNA METODOLOGIA PBL EN L'ENGINYERIA AEROESPACIAL..... | 7 |
| 2.3 EXPERIÈNCIES PBL D'ALTRES UNIVERSITATS EN ASSIGNATURES DE L'ÀMBIT AEROESPACIAL..... | 10 |
| 2.3.1 Disseny d'un avió en l'assignatura Cálculo de Aviones de la Universitat de Sevilla..... | 10 |
| 2.3.2 Metodologia PBL aplicada a l'enginyeria aeroespacial del MIT..... | 13 |
| 2.4 COMPATIBILITAT DE LA METODOLOGIA PBL AMB L'ASSIGNATURA DISSENY D'AVIONS..... | 16 |
| 2.5 DEFINICIÓ DEL CONCEPTE ACTIVE LEARNING..... | 18 |
| 3 METODOLOGIA..... | 20 |
| 3.1 PLANIFICACIÓ D'UNA ASSIGNATURA: CONSTRUCTIVE ALIGNMENT..... | 20 |
| 3.2 DEFINICIÓ DE LA METODOLOGIA DOCENT..... | 20 |
| 3.2.1 Objectius principals de l'assignatura..... | 21 |
| 3.2.2 Metodologia docent de l'assignatura..... | 21 |
| 3.2.3 Sistema d'avaluació de l'assignatura..... | 23 |
| 4 PLANIFICACIÓ DE LES SESSIONS LECTIVES..... | 24 |
| 5 ELABORACIÓ DEL MATERIAL DOCENT..... | 30 |
| 5.1 SESSIÓ 1..... | 30 |
| 5.1.1 Apartat del treball de referència..... | 30 |
| 5.1.2 Qüestionari previ a la sessió..... | 32 |
| 5.2 SESSIÓ 2..... | 34 |
| 5.2.1 Apartat del treball de referència..... | 34 |
| 5.2.2 Qüestionari previ a la sessió..... | 35 |
| 5.3 SESSIÓ 3..... | 36 |
| 5.3.1 Apartat del treball de referència..... | 36 |
| 5.3.2 Qüestionari previ a la sessió..... | 39 |
| 5.4 SESSIÓ 4..... | 41 |
| 5.4.1 Apartat del treball de referència..... | 41 |
| 5.4.2 Qüestionari previ a la sessió..... | 46 |
| 5.5 SESSIÓ 5..... | 48 |
| 5.5.1 Apartat del treball de referència..... | 48 |
| 5.5.2 Qüestionari previ a la sessió..... | 49 |
| 5.6 SESSIÓ 6..... | 52 |
| 5.6.1 Apartat del treball de referència..... | 52 |
| 5.6.2 Qüestionari previ a la sessió..... | 55 |
| 5.7 SESSIÓ 7..... | 58 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5.7.1 | <i>Apartat del treball de referència.....</i> | 58 |
| 5.7.2 | <i>Qüestionari previ a la sessió</i> | 59 |
| 6 | RESUM DEL PRESSUPOST | 60 |
| 7 | ANÀLISI I VALORACIÓ DE LES IMPLICACIONS AMBIENTALS I SOCIALS | 61 |
| 8 | CONCLUSIONS | 62 |
| 9 | REFERÈNCIES | 64 |



Índex de taules

| | |
|---|----|
| TAULA 1. EFECTIVITAT DEL MÈTODE PBL I GRAU DE SATISFACCIÓ (FONT: [7]) | 15 |
| TAULA 2. PLANIFICACIÓ DE LES SESSIONS LECTIVES CORRESPONENTS A LA PRIMERA PART DEL CURS | 27 |
| TAULA 3. CARACTERÍSTIQUES PRINCIPALS DELS AVIONS SIMILARS (FONT: [18, 19, 20, 21, 22, 23]) | 31 |
| TAULA 4. PRESSUPOST TOTAL DEL TREBALL | 60 |

Índex de figures

| | |
|--|----|
| FIGURA 1. DIAGRAMA RESULTANT DEL REQUERIMENT DE DISTÀNCIA D'ENLAIRAMENT. LA ZONA ADMISSIBLE DE DISSENY ES MOSTRA EN COLOR BLANC..... | 42 |
| FIGURA 2. DIAGRAMA RESULTANT DEL REQUERIMENT DE DISTÀNCIA D'ATERRATGE. LA ZONA ADMISSIBLE DE DISSENY ES MOSTRA EN COLOR BLANC..... | 43 |
| FIGURA 3. DIAGRAMA RESULTANT DEL REQUERIMENT DE PUJADA EN SEGON SEGMENT. LA ZONA ADMISSIBLE DE DISSENY ES MOSTRA EN COLOR BLANC..... | 44 |
| FIGURA 4. DIAGRAMA RESULTANT DEL REQUERIMENT DE PUJADA ACCELERADA. LA ZONA ADMISSIBLE DE DISSENY ES MOSTRA EN COLOR BLANC..... | 45 |
| FIGURA 5. DIAGRAMA RESULTANT DEL REQUERIMENT DE VOL HORIZONTAL EN CREUER. LA ZONA ADMISSIBLE DE DISSENY ES MOSTRA EN COLOR BLANC..... | 46 |
| FIGURA 6. DIAGRAMA D'ACTUACIONS AMB LA ZONA ADMISSIBLE DE DISSENY I ELS PUNTS DE DISSENY DELS AVIONS DE REFERÈNCIA | 49 |
| FIGURA 7. DIAGRAMA PESOS-ABAST DE L'AVIÓ FINS A L'ABAST AMB CÀRREGA DE PAGAMENT MÀXIMA | 53 |
| FIGURA 8. DIAGRAMA PESOS-ABAST DE L'AVIÓ FINS A L'ABAST AMB MÀXIMA CÀRREGA DE COMBUSTIBLE | 53 |
| FIGURA 9. DIAGRAMA PESOS-ABAST DE L'AVIÓ | 54 |
| FIGURA 10. DIAGRAMA CÀRREGA DE PAGAMENT-ABAST DE L'AVIÓ | 55 |
| FIGURA 11. POLAR PARABÒLICA ESTIMADA DE L'AVIÓ..... | 58 |

Llista d'abreviatures

PBL: *Project-Based Learning*, aprenentatge basat en projectes.

MIT: *Massachusetts Institute of Technology*.

MTOW: *Maximum Take-Off Weight*, pes màxim a l'enlairament.

OEI: *Operational Empty Weight*, pes operatiu en buit.

MZFW: *Maximum Zero Fuel Weight*, pes màxim sense combustible.

MFW: *Maximum Fuel Weight*, pes màxim de combustible.

MTOFL: *Maximum Take-Off Field Length*, distància d'enlairament màxima.

ESEIAAT: Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa.

UPC: Universitat Politècnica de Catalunya.



1 Introducció

1.1 Objecte

L'objectiu principal d'aquest treball és elaborar una proposta detallada per a l'assignatura de Disseny d'Avions, que consisteixi en una metodologia d'aprenentatge basat en projectes (PBL), i que serveixi com a alternativa a l'actual manera d'impartir les classes. Així doncs, es tracta de dur a terme un canvi radical en la metodologia docent de l'assignatura per afavorir la participació activa dels alumnes en l'aprenentatge dels objectius docents establerts.

La finalitat d'aquest treball, per tant, es pot dividir en dues vessants. D'una banda, es pretén reorganitzar i planificar les sessions de l'assignatura, de manera que en aquestes el paper principal passi del professorat als alumnes. D'altra banda, cal elaborar el material docent necessari perquè l'alumnat adquireixi les nocions bàsiques necessàries per l'elaboració del projecte. Això es farà a través d'un treball que reuneixi els continguts de l'assignatura, és a dir, el disseny d'un avió de referència que serveixi com a base per a desenvolupar les sessions lectives. No obstant, caldrà tenir en compte que potser és inviable abastar tots els temes a partir d'una sola aeronau, de manera que s'haurà de considerar la possibilitat d'utilitzar diferents avions de manera modular segons els objectius específics de cada sessió.

En definitiva, amb aquest treball de fi de grau es busca combinar la part tècnica, associada al disseny d'avions, amb la part docent, relacionada amb el replantejament de l'assignatura a través d'una metodologia PBL.

1.2 Abast

Aquest treball inclourà:

- Recerca sobre el PBL: es durà a terme una recopilació de diversos recursos bibliogràfics, com per exemple articles acadèmics, recursos web, vídeos explicatius, etc. que aportin suficient informació sobre la metodologia d'aprenentatge basat en projectes.
- Elaboració d'una nova metodologia docent per a l'assignatura: es tractarà de definir i concretar la manera com s'impartiran les classes a partir de la informació recopilada en la recerca sobre el PBL. A partir d'aquí, també s'haurà de decidir quin

tipus de material docent s'haurà de generar per reestructurar l'assignatura, així com l'avió o avions de referència que serveixin com a models.

- Desenvolupament de la metodologia PBL: s'elaborarà el material docent necessari, com per exemple qüestionaris, tests, entregues, etc., en funció de la metodologia definida i a partir dels objectius docents de cada sessió lectiva.
- Redacció del projecte de referència: s'elaborarà un treball que serveixi com a model per desenvolupar les sessions lectives, almenys, de la primera part de l'assignatura. L'abast mínim que tindrà aquest treball, doncs, és el corresponent al mòdul d'actuacions i disseny global. Això inclou els següents temes:
 - Mètodes d'estimació d'actuacions.
 - Pesos i centrat de l'avió.
 - Dimensionat inicial.
 - Diagrama pesos-abast.
 - Polar i coeficients aerodinàmics.
 - Resistència aerodinàmica.
 - Configuració general de l'avió.
- Confecció del pressupost econòmic: s'estimarà el cost associat al desenvolupament del treball en funció del nombre d'hores dedicades a cada tasca.

Aquest treball no inclourà:

- Identificació dels objectius docents: tot i que una tasca del treball sigui organitzar els objectius docents en sessions, la identificació i redacció d'aquests en base al temari oficial de l'assignatura és una feina que haurà de dur a terme el professorat responsable.
- Elaboració dels apunts de l'assignatura: la redacció de les explicacions teòriques de cada tema també queda reservada al professorat responsable de l'assignatura.
- Implementació de la metodologia: la posada en pràctica de la metodologia PBL no es contempla en aquest projecte. Al cap i a la fi, l'objectiu principal és desenvolupar una metodologia d'aprenentatge basat en projectes i, per tant, la implementació d'aquesta queda exclosa del treball.

1.3 Requeriments

Els requeriments bàsics que ha de tenir aquest treball són els que s'exposen a continuació:

- S'ha de desenvolupar, com a mínim, el material docent relatiu a la primera part de l'assignatura Disseny d'Avions, impartida a l'ESEIAAT en el grau d'Enginyeria en Vehicles Aeroespacials. Això inclou els següents temes:
 - Mètodes d'estimació d'actuacions.
 - Pesos i centrat de l'avió.
 - Dimensionat inicial.
 - Diagrama pesos-abast.
 - Polar i coeficients aerodinàmics.
 - Resistència aerodinàmica.
 - Configuració general de l'avió.
- La metodologia docent definida ha de ser compatible amb el context i els continguts de l'assignatura. És a dir, és possible que certs objectius docents no puguin ser assolits mitjançant una metodologia PBL estricta, de manera que s'ha de contemplar la possibilitat d'utilitzar metodologies híbrides que s'adaptin als diferents temes de l'assignatura.
- El material docent generat (qüestionaris, tests, entregues, etc.) ha de ser compatible amb la plataforma online Atenea i, per tant, ha de poder ser realitzat a través d'ella.
- La metodologia docent ha de tenir en compte que el nombre de persones matriculades en l'assignatura per quadrimestre pot oscil·lar entre 10 i 50 alumnes.
- La metodologia docent que es plantegi ha de complir rigorosament la normativa de l'ESEIAAT i de la UPC.

1.4 Justificació

A dia d'avui l'assignatura de Disseny d'Avions s'avalua a partir d'un treball en grup, elaborat fora de les hores de classe, en què l'alumnat ha de desenvolupar el disseny de referència inicial d'un avió. D'altra banda, les sessions lectives d'aquesta matèria consisteixen en lliçons expositives impartides pel professorat. En aquest context, el personal docent de l'assignatura pretén dur a terme un canvi en la metodologia que afavoreixi la participació activa per part dels alumnes en l'assoliment dels objectius docents. Així doncs, la principal

raó per la qual es realitza aquest treball és la voluntat del professorat per realitzar aquest canviament en l'assignatura.

L'aprenentatge basat en projectes es pot definir com un mètode d'ensenyament en què els estudiants aprenen participant activament en projectes del món real i personalment significatius [1]. Analitzant aquesta definició, sembla que el PBL és ideal pel context de l'assignatura. En primer lloc, perquè fomenta la participació activa de l'alumnat i, en segon lloc, perquè ho fa a través de projectes que són significatius. Tenint en compte que el treball de l'assignatura consisteix en el disseny de referència inicial d'un avió, és molt probable que els estudiants vegin aquest projecte com un cas del món real en què s'hi poden trobar com a futurs enginyers aeronàutics. Aquesta motivació, doncs, és fonamental perquè aquesta nova metodologia docent pugui tenir èxit.

Parlant dels avantatges del PBL, es pot destacar que a través d'aquest mètode els estudiants retenen els continguts apresos durant un període més llarg de temps i, a més, tenen una comprensió més profunda del que estan aprenent [2]. També, segons un estudi es demostra que els estudiants tenen una millor actitud envers l'aprenentatge quan la classe es desenvolupa seguint una metodologia PBL [3]. Concretament, els alumnes mostren més implicació, són més autosuficients i presenten més atenció a les explicacions. Per acabar, també es pot afirmar que a través de l'aprenentatge basat en projectes els estudiants demostren millors habilitats a l'hora de resoldre problemes i aplicar el que aprenen a situacions de la vida real [4].

Tots aquests avantatges són idonis pel que es busca a l'hora de realitzar aquest treball. Al cap i a la fi, l'objectiu és que els estudiants assoleixin els coneixements d'una forma activa, que els motivin els continguts i que més endavant puguin aplicar aquests aprenentatges en situacions de la vida real. No obstant, no es pot ignorar el fet que aquesta nova metodologia pot tenir certs punts febles. Cal tenir en compte que les hores de classe són reduïdes i que hi ha alguns temes que formen part del contingut de l'assignatura que poden ser, a priori, difícils d'implementar a través d'una metodologia PBL.

Per concloure, un cop contextualitzada la situació i havent explicat la necessitat d'implementar una nova metodologia docent en l'assignatura Disseny d'Avions, el que es busca amb la realització d'aquest treball de fi de grau és aportar valor acadèmic més enllà de la realització del propi projecte. Es pretén, doncs, ajudar a reestructurar aquesta matèria amb la col·laboració del professorat responsable i que això pugui ajudar a millorar la qualitat docent d'una assignatura d'un grau universitari.

2 Antecedents i revisió de l'estat de la qüestió

2.1 Què és el PBL i per què pot resultar útil

El Project-Based Learning (PBL) o aprenentatge basat en projectes es defineix com un mètode d'ensenyament en què els estudiants aprenen participant activament en projectes del món real i personalment significatius [5]. El PBL es menciona per primer cop com a tal el 1918 i té el seu origen en el treball efectuat pels pedagogs John Dewey i William Kilpatrick, els quals van liderar el moviment de la pedagogia progressista durant la primera meitat del segle XX [6]. Entre les seves principals reivindicacions s'hi trobava la implementació d'una nova educació pràctica, vital, participativa, democràtica, activa i motivadora que s'enfrontés a l'educació tradicional contemporània dels Estats Units, la qual acusaven de formalisme, autoritarisme, de fomentar la competitivitat, de construir una mera transmissió de coneixements mitjançant la memorització i de passiva per a l'alumnat i aliena als seus interessos.

Tornant a l'origen del terme Project-Based Learning, aquest es va definir com un mètode d'instrucció enfocat a l'aprenentatge de l'estudiant mitjançant la investigació de preguntes complexes, l'exploració de problemes del món real i l'obtenció de respostes a través de la realització d'un projecte multidisciplinari. Analitzant aquesta definició, es pot comprovar que la concepció que es té actualment de l'aprenentatge basat en projectes no difereix gaire del concepte definit per part dels integrants de la pedagogia progressista del segle passat. L'objectiu principal segueix sent, doncs, que els alumnes adquireixin els conceptes d'una forma activa participant en un projecte que involucri diversos camps de coneixement. Al cap i a la fi, la idea és que els estudiants aprenguin a través d'un procés en què ells mateixos construeixen el coneixement de forma activa; és a dir, l'aprenentatge resulta de la pròpia acció de l'alumne [7]. És per això que el projecte ha de ser un repte motivador per a l'estudiantat, el qual ha d'avançar de manera paral·lela a l'aprenentatge dels alumnes. Per tal que això es compleixi, cal que la finalitat del treball sigui la creació d'un producte que sigui potencialment capaç de millorar un de ja existent, és a dir, que sigui un projecte que porti valor a la societat.

Pel que fa als possibles avantatges del mètode PBL enfront de les classes expositives, es demostra que els estudiants mostren més implicació en el procés d'aprenentatge i, per tant, gaudeixen més de l'experiència [8]. L'aprenentatge basat en projectes és una metodologia desafiant, però alhora motivadora pels alumnes, ja que han d'aprendre a resoldre problemes de la vida real mitjançant l'auto-aprenentatge. Un altre punt fort del PBL és el

fet que a través d'aquest mètode els estudiants són capaços de retenir els continguts apresos durant un període més llarg de temps, a la vegada que tenen una major comprensió del que estan aprenent [2]. Per contra, diversos estudis demostren que un enfocament educatiu de caire més tradicional comporta que els alumnes siguin incapaços d'assolir un grau elevat de retenció de coneixement [8]. Malgrat els esforços per part d'ambdues parts, tant professorat com alumnat, la majoria dels continguts apresos a través de lliçons expositives és oblidat de forma prematura, a la vegada que les habilitats per resoldre problemes es deterioren de forma ràpida. A més a més, la motivació per part dels estudiants en aquest entorn educatiu acostuma a ser bastant baixa, en contraposició de la que existeix en les classes que empren una metodologia PBL.

En resum, la metodologia PBL es recolza, a grans trets, en tres principis teòrics [7]:

a) *L'aprenentatge és un procés constructiu*

L'aprenentatge té lloc quan els alumnes són capaços de relacionar la informació nova amb el coneixement i experiències que ja han assimilat. Així doncs, facilitar el processament dels nous conceptes i ajudar els estudiants a establir connexions significatives és considerat com el requeriment bàsic per ensenyar i aprendre. La metodologia PBL promou això mateix, ja que el procés d'aprenentatge es converteix en un acte de descobriment constant. Els alumnes busquen la informació de forma autònoma i després l'utilitzen de forma activa juntament amb les seves habilitats per completar el projecte.

b) *Meta-coneixement*

El meta-coneixement és el procés d'aprendre com un mateix aprèn. Una de les característiques que defineixen els bons estudiants és el fet que saben detectar si estan comprenent o no la nova informació, i també utilitzar diferents estratègies per desxifrar nous coneixements i experiències. Així doncs, són capaços de jutjar la dificultat del problema i avaluar el seu progrés a l'hora de resoldre'l. La metodologia PBL dona als estudiants l'oportunitat de monitoritzar el seu propi aprenentatge i avaluar el seu progrés.

c) *Els factors socials i culturals afecten l'aprenentatge*

Una de les claus de l'aprenentatge és que aquest s'ha de produir en un context semblant al que es trobaran els alumnes en el seu futur. Els estudiants mostren major disposició a aprendre quan veuen connexions entre el que estudien i el que viuen en primera persona dins el seu context sociocultural. La metodologia PBL intenta plantejar problemes que s'assemblin al màxim possible a situacions de la vida real.

2.2 Ús d'una metodologia PBL en l'enginyeria aeroespacial

El caràcter multidisciplinari del PBL fa que aquesta metodologia d'aprenentatge sigui interessant d'implementar en algunes assignatures del grau d'enginyeria aeroespacial, doncs l'enginyeria és un procés complex format per passos creatius i analítics, en què diverses ciències són aplicades per convertir recursos en productes reals [9]. L'enginyeria és, per tant, la pràctica d'aplicar coneixement científic en el disseny, construcció i operació de màquines i instruments [8]. Aquestes definicions de l'enginyeria posen de manifest el fet que aquesta ciència, igual que el mètode PBL, és de caràcter multidisciplinari.

Entrant una mica més en el fons de la qüestió, la qual no deixa de ser l'elaboració d'una proposta per a la implementació d'una metodologia PBL en l'assignatura Disseny d'Avions, es pot veure fàcilment que aquesta matèria involucra diferents àrees de coneixement de l'enginyeria aeroespacial, com per exemple l'aerodinàmica, la propulsió, la teoria d'estructures, l'estabilitat i control, etc. Totes elles són assignatures que es realitzen de forma prèvia a la de Disseny d'Avions, la qual cosa implica que la metodologia d'aprenentatge basat en projectes sigui idònia pel context d'aquesta assignatura, ja que es tracta d'una matèria multidisciplinària en què els coneixements requerits han estat adquirits de forma prèvia. A més a més, una de les preocupacions de la indústria actual és el fet que els estudiants, de forma general, no tenen les habilitats pràctiques necessàries a l'hora d'exercir les seves funcions laborals de forma efectiva [8]. L'ús d'una metodologia PBL en diverses assignatures del grau podria afavorir, doncs, que aquest problema es mitigués.

Un cop s'ha vist que l'assignatura Disseny d'Avions pot arribar a reunir els requisits necessaris per poder ser impartida mitjançant una metodologia PBL, a continuació s'enumeren les principals característiques de l'aprenentatge basat en projectes segons Yusof [10], alhora que es mostra la seva compatibilitat amb els dissenys d'aeronaus:

- a) *Un problema realista que captura l'interès dels alumnes és el punt inicial de l'aprenentatge.*

Pel que fa al disseny d'avions, el problema plantejat pot estar basat en un repte de la vida real. Per exemple, es podria exigir dissenyar un avió de 140 passatgers, amb un abast mínim de 1500 milles nàutiques i que resulti més barat que les actuals aeronaus del mercat en termes de costos operacionals.

b) *El projecte desafia els coneixements, aptituds i competències existents en els estudiants, conduint-los a corregir alguns d'ells o bé a identificar noves mancances.*
Durant el procés de disseny d'un avió els alumnes han d'identificar quines solucions existents poden ser útils, a la vegada que han d'assolir nous coneixements en diferents àrees que no han estat treballades amb anterioritat.

c) *La responsabilitat de l'assoliment dels conceptes és dels alumnes. El personal docent es dedica únicament a facilitar el procés d'aprenentatge i els ajuda en la resolució de problemes.*

Els estudiants han de ser capaços d'identificar en quines àrees han d'aprendre més per tal de completar el projecte. D'altra banda, els professors guien els estudiants a través de reptes i preguntes que els ajuden en el procés d'assoliment dels conceptes i la posterior realització del treball.

d) *La informació ha de ser contrastada i adquirida de diverses fonts, identificant sempre el que és realment útil i descartant els conceptes irrelevantes.*

El disseny d'avions s'acostuma a realitzar prenent informació d'altres avions similars, per la qual cosa és necessari que els alumnes siguin conscients que hauran de buscar en diferents recursos les dades pertinents, analitzant sempre si la informació trobada és vàlida o no.

e) *Els alumnes treballen en equips en què han d'interactuar per tal de compartir coneixement i debatre opinions conflictives.*

Durant el disseny d'un avió participen diferents especialistes en àrees com l'aerodinàmica, la propulsió o la teoria d'estructures. Així doncs, en la realització del projecte és fonamental que existeixi una cooperació entre els membres del grup, ja que és impossible abastar tots els coneixements que es requereixen per dissenyar un avió. També serà necessària aquesta coordinació perquè el treball d'un membre pot afectar directament al dels altres. Per exemple, si la persona encarregada de dissenyar l'ala ha d'incrementar la seva superfície, això comporta un canvi en les altres àrees de disseny degut a l'augment de pes de l'avió.

Així doncs, no es tracta que cada membre del grup treballi de forma independent, sinó que és primordial que hi hagi una alta interacció entre els participants del projecte. D'aquí sorgeix el concepte de *cooperative learning*, el qual està molt lligat a la metodologia PBL.

- f) *Al final del projecte els alumnes el presenten i reflexionen sobre el procés d'aprenentatge.*

Un cop acabat el projecte, la solució del problema es presenta davant de la classe, realitzant a continuació una ronda de preguntes que faci reflexionar a l'alumnat per assegurar un aprenentatge més profund. Els estudiants també avaluen els coneixements apresos i l'efectivitat del mètode utilitzat, amb l'objectiu que aquest vagi millorant.

En resum, una metodologia PBL parteix d'un problema inicial que s'ha de resoldre en grup mitjançant un aprenentatge autònom i actiu, en què els membres de l'equip necessiten cooperar entre ells per assolir un resultat satisfactori. Tal i com s'ha mencionat anteriorment, aquesta cooperació entre els alumnes ha d'anar més enllà d'un simple treball en grup en què cada alumne es preocupa únicament de la seva part. Així doncs, es requereix que es compleixin els principis bàsics del *cooperative learning* [11]:

- a) *Interdependència positiva*

Els membres del grup han de confiar en el treball que realitzen la resta dels integrants de l'equip per tal d'assolir l'objectiu final.

- b) *Responsabilitat individual*

Tots els membres són responsables de realitzar la seva part, a la vegada que han de dominar i tenir coneixement de tot el material a aprendre.

- c) *Interacció cara a cara*

Encara que part del treball en grup es pot fragmentar i dur-lo a terme individualment, hi ha parts del projecte que s'han de realitzar de manera interactiva, de manera que els membres de l'equip debaten, raonen i arriben a conclusions de forma conjunta.

- d) *Ús adequat d'habilitats col·laboradores*

Els alumnes han de desenvolupar i practicar certes habilitats com la creació de confiança mútua, el lideratge, la presa de decisions, la comunicació i la gestió de conflictes.

- e) *Procediment grupal*

Els alumnes han d'establir objectius de grup, avaluar periòdicament què estan fent bé com a equip i identificar els canvis necessaris per funcionar de manera més eficient en el futur.

Un cop vistes les principals característiques de la metodologia PBL i del *cooperative learning*, es pot concloure que aquestes són compatibles amb el Disseny d'Avions, fet que reforça la idea d'implementar aquest mètode en l'assignatura. De fet, existeixen diverses universitats que utilitzen l'aprenentatge basat en projectes en aquesta matèria, donat que el seu context és idoni per aquesta metodologia docent. Al cap i a la fi, el Disseny d'Avions és fonamental en l'aprenentatge de qualsevol enginyer aeronàutic, ja que permet encaixar i agrupar els conceptes provinents de les diferents assignatures cursades al llarg del grau.

Amb la finalitat de definir la proposta de metodologia docent, un dels objectius principals d'aquest treball de fi de grau, en el següent apartat es presenten algunes experiències dutes a terme en altres universitats. En aquestes, s'analitza el funcionament de l'assignatura i l'efectivitat del mètode, així com el grau de satisfacció dels alumnes.

2.3 Experiències PBL d'altres universitats en assignatures de l'àmbit aeroespacial

2.3.1 Disseny d'un avió en l'assignatura Cálculo de Aviones de la Universitat de Sevilla

En aquesta secció es presenta l'experiència universitària de metodologia PBL de l'assignatura *Cálculo de Aviones* impartida en el grau d'Enginyeria Aeronàutica de la Universitat de Sevilla, en la qual s'ensenya als alumnes a dissenyar un avió seguint un mètode d'aprenentatge basat en projectes [12].

Objectius i metodologia docent de l'assignatura

Els objectius bàsics que es plantegen en la realització d'aquesta assignatura mitjançant una metodologia PBL són, d'una banda, que l'alumnat sigui capaç de dissenyar i defensar un projecte d'avió que compleixi satisfactòriament els requeriments definits en la proposta de disseny efectuada pel professorat; d'altra banda, es busca que els estudiants comencin a familiaritzar-se amb algunes de les eines, mètodes i processos d'enginyeria que existeixen avui en dia en la indústria.

L'objectiu final d'aquesta experiència és que els alumnes, mitjançant l'aprenentatge basat en projectes, aprenguin a administrar un projecte de grans dimensions amb dates i esdeveniments que han estat fixats prèviament. Per fer-ho, els estudiants s'organitzen i treballen en grups formats per sis persones en la mesura del possible, i competeixen amb la resta d'equips per veure qui dissenya l'avió que compleix de millor manera els requisits imposats pel professorat. El funcionament dins de cada equip està definit de manera que existeixin sis subgrups, de forma que cada un d'ells s'ocupi d'una de les sis àrees



d'investigació establertes: aerodinàmica, actuacions, propulsió, estabilitat i control, estructures i, finalment, disseny i sistemes. La idea és que els alumnes aprenguin a gestionar responsabilitats individuals en un entorn de grups de treball, fent especial èmfasi en la necessitat que existeixi una comunicació efectiva entre els diferents subgrups, ja que es tracta d'un projecte amb responsabilitats compartides en què la feina d'un membre afecta a la dels altres. En definitiva, els alumnes es veuen abocats a exercir tasques d'enginyer per les quals han estat preparats al llarg del grau universitari.

Pel que fa a la metodologia docent, es considera primordial el seguiment periòdic mitjançant entregues d'informes parcials i presentacions regulars sobre l'estat del projecte, per assegurar que els alumnes són capaços de complir tots els terminis establerts. Aquesta aposta pel seguiment periòdic es reforça mitjançant el desdoblament de la figura del professor en tres figures que realitzen tasques diferents, però coordinades, i que es recolza en la divisió de la docència de l'assignatura en tres grans blocs:

- Sessions teòriques (36 hores)

En aquestes sessions el professor adopta el rol d'*instructor*. L'objectiu és que durant aquestes classes teòriques els alumnes rebin tota la informació necessària per tal que puguin dur a terme el disseny de l'aeronau. Així doncs, l'instructor imparteix, mitjançant els mitjans audiovisuals disponibles, lliçons expositives dels continguts temàtics de l'assignatura.

- Sessions de control (6 hores)

En aquestes sessions el professor adopta el rol de *contractista*. Donada la dificultat que representa el disseny d'un sistema tan complex com és el cas d'un avió, és necessari que hi hagi un seguiment periòdic del projecte. D'aquesta manera, es realitzen tres sessions de control al llarg del curs en les quals es mostra el progrés del projecte mitjançant presentacions, juntament amb l'entrega d'un informe de seguiment que compleixi els requisits establerts. També, es fomenta que després de les exposicions dels grups s'obri un torn de preguntes en què els equips competidors puguin fer qüestions tècniques sobre el disseny de l'aeronau.

- Sessions de tutoria (6 hores)

En aquestes sessions el professor adopta el rol de *consultor*. Amb la finalitat de reforçar el seguiment periòdic del projecte, s'organitzen tres sessions de tutoria que es realitzen durant la setmana posterior a les presentacions efectuades en les sessions de control. Els objectius principals són, d'una banda, resoldre els dubtes

que hagi pogut plantejar el contractista en les sessions de control i, d'altra banda, enfocar el treball de cada grup de cara a la següent sessió de control.

Finalment, els alumnes presenten el seu projecte en una última sessió de control (examen final), que consisteix en una exposició final d'uns 30 minuts i en la qual cada grup defensa el disseny del seu avió davant la figura del contractista.

Sistemes de qualificació i avaluació de l'assignatura

Durant el curs s'han de presentar tres informes tècnics associats a les tres sessions de control, així com una memòria final que s'entrega el dia de l'examen final. D'aquesta manera, la nota final de l'assignatura de cada alumne ve determinada per la suma de les notes obtingudes en les següents avaluacions:

- Part associada al treball individual de cada persona (35%)
Avaluació de la part individual realitzada per cada alumne, la qual consisteix en la feina feta per part del seu subgrup de treball.
- Part associada al treball en grup (40%)
Avaluació de la memòria final de forma conjunta.
- Presentació final (10%)
Avaluació de la defensa en grup del projecte final.
- Sessions de control (15%)
Avaluació de les presentacions i documents tècnics presentats en cadascuna de les tres sessions de control.

Descripció de l'experiència i conclusions

La metodologia descrita en les seccions anteriors ha estat implementada des del primer any de docència de l'assignatura (curs 2006-2007), de manera que no existeixen dades comparatives amb altres metodologies. No obstant, els estudiants mostren un alt grau de satisfacció amb la matèria en comparació amb altres assignatures del grau, constatant que la implementació d'aquesta metodologia és un èxit. Concretament, els alumnes expressen reiteradament la satisfacció de poder cursar una matèria tan important mitjançant l'aprenentatge basat en projectes, ja que això els permet ser capaços d'entendre el context en què es poden ubicar la gran majoria d'assignatures que han realitzat al llarg de la carrera. De manera quantitativa, es disposa de dades avaluadores per part de l'alumnat sobre l'actuació docent del professorat en els cursos 2009-2010, 2010-2011, 2011-2012 i 2012-2013, únics anys en què s'han realitzat aquestes avaluacions. En elles, s'aprecia que les

avaluacions dels alumnes, sobre un màxim de 5 punts, són superiors a la mitjana de la titulació d'Enginyeria Aeronàutica i a la mitjana de la pròpia Universitat de Sevilla.

- Avaluacions del curs 2009-2010:
Assignatura: 4.32, Titulació: 3.50, Universitat: 3.71
- Avaluacions del curs 2010-2011:
Assignatura: 4.33, Titulació: 3.65, Universitat: 3.72
- Avaluacions del curs 2011-2012:
Assignatura: 4.38, Titulació: 3.55, Universitat: 3.73
- Avaluacions del curs 2012-2013:
Assignatura: 4.39, Titulació: 3.69, Universitat: 3.74

Finalment, es conclou que aquesta metodologia docent és eficaç, ja que els alumnes són capaços d'aprendre en un entorn de treball que els introdueix a la seva primera experiència d'enginyeria col·laboradora utilitzada en el sector de la indústria aeroespacial. D'altra banda, com a futures millores es contempla poder augmentar el material didàctic disponible a través de mitjans digitals o models d'aeronaus similars a les proposades per part del professorat a l'inici de curs, per exemple. També s'ha identificat una problemàtica a l'hora de delimitar el temps dedicat a aquesta assignatura, ja que la metodologia PBL pot arribar a provocar que els alumnes hi inverteixin moltes hores en comparació amb altres matèries. D'aquesta manera, es pretén millorar aquest aspecte a través de l'ús extensiu d'eines que aportin més informació als estudiants, així com la delimitació de la càrrega de treball i l'abast dels tres documents parcials que s'han d'entregar en les sessions de control.

2.3.2 Metodologia PBL aplicada a l'enginyeria aeroespacial del MIT

En aquesta secció es presenta l'experiència universitària de metodologia PBL aplicada en diverses assignatures d'enginyeria aeroespacial dutes a terme en el Massachusetts Institute of Technology (MIT) [7].

Definició d'una nova metodologia docent

Des de fa diversos cursos s'ha anat implementant una nova metodologia docent en les assignatures corresponents al Departament d'Aeronàutica i Astronàutica del MIT. Concretament, s'ha elaborat un nou pla estratègic amb el qual s'han iniciat noves estratègies d'ensenyament i aprenentatge, de manera que l'actual currículum està basat en un context d'enginyeria del món real. Així doncs, s'han integrat noves propostes dins el

programa educatiu en què els alumnes han de concebre, dissenyar, implementar i operar diversos projectes del món real.

Aquests projectes estan ordenats seqüencialment al llarg dels anys, de manera que es comença realitzant treballs senzills i s'acaba dissenyant sistemes altament complexos a través de projectes. Per exemple, en l'assignatura *Introduction to Aerospace and Design*, realitzada durant el primer any, els alumnes dissenyen, construeixen i fan volar un vehicle més lleuger que l'aire a través de radiocomandament. Al següent curs, en l'assignatura *Unified Engineering*, els estudiants dissenyen, construeixen i fan volar una petita aeronau de propulsió elèctrica a través de radiocomandament. Finalment, durant els últims cursos s'imparteixen matèries utilitzant una metodologia PBL en el sentit estricte de la paraula, com per exemple en les assignatures *Experimental Projects Laboratory* i *Space Systems Engineering*. En aquests casos, els alumnes identifiquen problemes del seu interès i experimenten per trobar solucions, a la vegada que dissenyen sistemes complexos de caràcter multidisciplinari que integren fonaments de l'enginyeria.

Avaluació de la metodologia PBL i conclusions

La manera d'avaluar una assignatura que utilitza una metodologia PBL pot ser de formes molt diferents. Les matèries de l'àmbit aeroespacial impartides en el MIT són avaluades a través d'informes de laboratori, seminaris tècnics, anàlisis de disseny, informes de seguiment del projecte, avaluació dels companys de grup, autoavaluació de l'aprenentatge, etc. Es tracta, doncs, d'eines que ajuden a valorar el desenvolupament de les habilitats cognitives dels alumnes al llarg del projecte.

D'altra banda, una de les coses que també s'avaluen en aquestes experiències d'aprenentatge basat en projectes és la valoració afectiva de l'alumne. És important, doncs, tenir en compte la confiança dels estudiants en sí mateixos a l'hora d'afrontar problemes, així com la seva voluntat per involucrar-se en resoldre reptes desafiants i la manera en com plantegen la solució. Aquestes aptituds són avaluades a través d'observacions del professorat, entrevistes personals i altres formes d'autoavaluació.

Les conclusions que es poden extreure després de diversos cursos utilitzant una metodologia PBL en diferents assignatures de l'àmbit aeroespacial impartides en el MIT són, per part del professorat, generalment positives. El personal docent redacta una memòria reflexiva al finalitzar cada curs en què s'avalua el mètode impartit i se'n destaquen els punts forts així com els aspectes a millorar. Un dels aspectes que és compartit per la majoria del professorat és el fet que la metodologia PBL és estimulante i gratificadora pels estudiants. Així doncs, es valora positivament l'aprenentatge basat en projectes perquè

permet que els alumnes s'impliquin més en les sessions lectives i mostrin més interès en els continguts de les assignatures. D'altra banda, les principals dificultats que planteja una metodologia PBL són els recursos que es requereixen a nivell de temps, cost i espai.

Pel que fa als estudiants, també valoren positivament que les assignatures s'imparteixin utilitzant l'aprenentatge basat en projectes. Al finalitzar el curs, els alumnes valoren l'efectivitat del mètode utilitzant una escala qualitativa de 3 opcions: *poc efectiu*, *efectiu*, *molt efectiu*. La Taula 1 mostra el percentatge d'estudiants que valoren el mètode emprat en les diverses assignatures com a *molt efectiu*. També, es mostra el grau de conformitat dels alumnes sobre si val la pena cursar l'assignatura i si estan d'acord en que és rellevant o no.

Taula 1. Efectivitat del mètode PBL i grau de satisfacció (Font: [7])

| Assignatura | Pràctiques (% molt efectiu) | Projectes (% molt efectiu) | Rellevant (% d'acord) | Val la pena (% d'acord) |
|---------------------------------------|--|---|--------------------------------------|--|
| <i>Intro. to Aerospace and Design</i> | 85 | 88 | 58 | 63 |
| <i>Unified Engineering I</i> | 78 | -- | 97 | 94 |
| <i>Unified Engineering II</i> | 48 | -- | 95 | 94 |
| <i>Experimental Methods I</i> | 67 | 70 | 92 | 96 |
| <i>Experimental Methods II</i> | 78 | 65 | 78 | 74 |
| <i>Space Systems Design</i> | 72 | 94 | 100 | 83 |

Cal destacar que les assignatures que es mostren estan ordenades de forma seqüencial, de manera que la primera de totes correspon al primer curs, mentre que les últimes són matèries que s'imparteixen en els cursos finals. Tal i com s'ha dit abans, es comença realitzant pràctiques senzilles i s'acaba dissenyant sistemes altament complexos a través de projectes utilitzant una metodologia PBL en el sentit estricte de la paraula. És per aquest motiu que les assignatures d'*Unified Engineering* no s'avaluen a través de projectes, sinó a través de treballs parcials.

Un dels fets destacables de la Taula 1 és que, exceptuant la primera assignatura de totes, els alumnes opinen, amb un percentatge elevat, que val la pena cursar assignatures on s'utilitza una metodologia PBL. També és positiu que l'assignatura *Space Systems Design*, la qual utilitza un mètode purament d'aprenentatge basat en projectes, sigui considerada per la totalitat de l'alumnat com una matèria rellevant en què el projecte que es realitza és avaluat pel 94% dels alumnes com a molt efectiu.

2.4 Compatibilitat de la metodologia PBL amb l'assignatura Disseny d'Avions

Després d'haver definit el mètode d'aprenentatge basat en projectes i haver vist les seves característiques principals es pot concloure que el PBL és totalment aplicable a una assignatura de l'enginyeria aeroespacial com és el cas del Disseny d'Avions. Això ve reforçat pel fet que altres universitats han començat a implementar aquesta metodologia docent en diverses matèries de l'àmbit aeronàutic, obtenint resultats bastant satisfactoris. Queda demostrat, doncs, que els alumnes tenen una especial preferència per matèries que utilitzen una metodologia PBL. Això és així perquè acostumen a trobar un context més motivador en què han de tenir una implicació directa en el procés d'aprenentatge. D'aquesta manera, els estudiants són capaços de dur a terme projectes en què aprenen i milloren moltes competències que els seran necessàries en el seu futur laboral.

A més a més, s'observa que el PBL és un mètode que va evolucionant i millorant al llarg del temps, adaptant-se a les necessitats dels alumnes i a les limitacions del curs, com per exemple el nombre d'hores disponibles. Aquest aspecte permet que el mètode es vagi perfeccionant a mesura que passen els anys acadèmics, fet totalment oposat al que passa amb les actuals lliçons expositives, les quals tenen pràcticament les mateixes característiques curs rere curs.

En definitiva, s'ha pogut comprovar que el PBL és un mètode d'aprenentatge que podria suposar, d'una banda, una millora substancial de la qualitat docent de l'assignatura de Disseny d'Avions i, d'altra banda, un increment en la motivació i implicació dels alumnes durant les sessions lectives. A través d'aquesta metodologia, doncs, els estudiants podrien acabar el curs sent capaços de fer el disseny conceptual d'un avió i, al mateix temps, havent après una sèrie de competències que de ben segur podrien resultar molt útils en el seu futur laboral. No obstant, després d'haver-ho consultat amb el personal docent, la implementació d'un mètode que sigui completament d'aprenentatge basat en projectes s'ha descartat, a hores d'ara, per l'assignatura Disseny d'Avions. Tot i això, no es descarta que en un futur s'acabi aplicant aquesta metodologia en la seva totalitat, ja que la seva capacitat d'adaptació i evolució que s'ha mencionat abans podria acabar afavorint aquest fet. Els motius pels quals s'ha optat per no aplicar un mètode que sigui completament PBL són els que s'exposen a continuació.

En primer lloc, es constata la dificultat d'encabir un projecte com el que es presenta en l'experiència de la Universitat de Sevilla degut a l'elevat nombre d'alumnes matriculats per curs a l'ESEIAAT, aproximadament entre unes 40 i 50 persones. Això implica que s'hagin



de crear uns 7 o 8 equips de treball i, sumant aquest fet a les actuals limitacions de recursos (l'assignatura l'imparteix una sola professora), impossibilita que es pugui realitzar el seguiment periòdic exhaustiu que caracteritza el mètode PBL.

En segon lloc, s'ha de tenir en compte el caràcter seqüencial de l'assignatura, la qual està organitzada en sessions lectives enfocades a una sèrie d'objectius docents corresponents a un tema en concret, com per exemple la definició dels pesos i centrat de l'avió, el disseny de les ales o el fuselatge, l'elaboració del diagrama pesos-abast, etc. Això es fa d'aquesta manera perquè, malgrat els alumnes tenen coneixements previs sobre alguns d'aquests temes, cal reforçar i ampliar aquesta informació perquè el disseny de l'avió es pugui realitzar. Així doncs, el fet que el temari de l'assignatura s'hagi d'impartir d'alguna forma, impossibilita que els equips s'organitzin en subgrups que treballin en una àrea de coneixement concreta. Si això es fes d'aquesta manera, hi hauria subgrups que no podrien començar la seva feina fins després de la presentació parcial, duta a terme a meitat de curs. En definitiva, cal que tots els membres de l'equip treballin de forma conjunta en totes les etapes de disseny de l'aeronau, de manera que no existirà la interacció i discussió entre grups de treball pròpies de la metodologia PBL més tradicional.

Finalment, una altra raó per la qual s'ha descartat la implementació, en la seva totalitat, d'un mètode d'aprenentatge basat en projectes és degut a la voluntat de no limitar el disseny de l'avió mitjançant una llista de requeriments a complir. És a dir, l'objectiu és que els alumnes tinguin total llibertat a l'hora d'escollir el tipus d'avió i, per tant, puguin decidir, per exemple, si dissenyar un avió de passatgers o de mercaderia, que incorpori tecnologia de propulsió elèctrica o no, que sigui capaç de realitzar vols de llarg abast o no, etc. La finalitat, doncs, és fomentar la creativitat dels alumnes en aquest aspecte ja que, a més a més, la definició de la configuració general de l'aeronau forma part del temari de l'assignatura. D'aquesta manera, el projecte no s'inicia a partir d'un problema inicial definit de forma estricta a través de requeriments imposats pel professor, tal i com es proposa típicament en la metodologia PBL.

No obstant, cal destacar que la metodologia que es pretén implementar reuneix algunes característiques de l'aprenentatge basat en projectes. Per començar, es planteja un problema que es pot donar en la vida real i que és significatiu pels alumnes. Al cap i a la fi, el disseny d'un avió és un objectiu al qual la majoria d'enginyers aeronàutics volen aspirar. També, el fil conductor de l'assignatura és un treball en equip en què els alumnes treballen de forma conjunta, encara que no hi hagi una organització interna de subgrups que s'encarreguin d'una àrea de treball específica. A més a més, en aquest projecte el professor

adopta un rol passiu, de manera que són els estudiants els protagonistes del procés d'aprenentatge. El personal docent es limita a guiar els alumnes quan sorgeixen dubtes, però en cap cas dona una resposta completa als problemes que es van plantejant. Per acabar, els estudiants presenten el treball davant de la classe i reflexionen sobre el procés d'aprenentatge, així com del mètode utilitzat. L'objectiu és que aquesta metodologia vagi millorant amb el pas del temps a partir dels suggeriments realitzats a final de curs en enquestes específiques a l'alumnat.

D'aquesta manera, la metodologia que es vol implementar en l'assignatura Disseny d'Avions té característiques pròpies del PBL, combinades amb les d'un mètode d'aprenentatge actiu o *active learning*.

2.5 Definició del concepte *active learning*

Un mètode d'aprenentatge actiu o *active learning* és aquell en què els estudiants estan involucrats de forma activa o experimental en el procés d'aprenentatge a través de debats, resolució de problemes, jocs de rol i altres mètodes [13]. Els defensors d'aquest mètode consideren que l'escolta passiva no és suficient per poder aprendre, sinó que els alumnes han de llegir, escriure, debatre i estar involucrats en la resolució de problemes. D'aquesta manera, l'*active learning* és un mètode que centra els seus esforços en *com aprenen els alumnes* més que en *què aprenen els alumnes* [14].

Així doncs, aquesta metodologia d'aprenentatge anima els estudiants a pensar d'una forma crítica en comptes de rebre informació de forma passiva per part del professorat. Diversos estudis confirmen que no és possible transmetre tot el coneixement als alumnes explicant únicament el que necessiten saber, sinó que els professors han d'assegurar-se que desafien el pensament dels seus alumnes [14]. Amb l'*active learning* els estudiants juguen un paper molt important en el seu procés d'aprenentatge, ja que s'encarreguen de construir coneixement a partir de qüestions i problemes plantejats per part del personal docent.

Parlant dels avantatges principals d'aquesta metodologia es pot destacar, en primer lloc, que l'*active learning* ajuda els alumnes a esdevenir aprenents permanents. Aquest mètode d'aprenentatge desenvolupa l'autonomia dels estudiants i la seva habilitat per aprendre, a la vegada que fomenta la implicació de l'alumne en aquest procés. D'aquesta manera, gràcies a l'*active learning* els estudiants són capaços de continuar aprenent un cop abandonen la seva etapa acadèmica. Un altre punt fort d'aquesta metodologia és que assegura èxit, segons es pot demostrar a través de diversos exàmens duts a terme a Cambridge. En aquests exàmens, els alumnes que han après a través d'un mètode

d'aprenentatge actiu obtenen millors qualificacions que aquells que ho han fet mitjançant una metodologia passiva [14]. Un altre avantatge evident de l'*active learning* és el fet que promou la participació dels alumnes en el procés d'aprenentatge, provocant un context de debat permanent que millora la motivació dels estudiants. Així doncs, es pot afirmar que es tracta d'una metodologia atractiva i intel·lectualment emocionant.

D'altra banda, existeixen alguns punts febles que també s'han de tenir en compte [15]. Un dels més evidents és que, per un mateix temari, una metodologia d'*active learning* requereix més hores de classe en comparació amb altres mètodes més tradicionals. En conseqüència, l'abast de l'assignatura s'acaba reduint. A més a més, planificar una sessió d'aquest tipus comporta també més temps de preparació, fet que a vegades no pot assumir el professorat. Un altre desavantatge pot venir per part de les institucions acadèmiques, ja que a vegades el personal docent no rep recursos econòmics ni didàctics suficients. Finalment, també es constata la dificultat d'implementar una metodologia d'aprenentatge actiu quan el nombre d'alumnes és elevat.

En resum, es pot apreciar una gran similitud entre la metodologia *active learning* i el PBL. Al cap i a la fi, l'aprenentatge basat en projectes es pot encabir dins el mètode d'aprenentatge actiu, ja que es fomenta la participació i implicació de l'alumnat en les sessions lectives. A més, són metodologies que comparteixen la idea que els estudiants han de jugar un paper principal en el procés d'aprenentatge, quedant el rol del professor en un segon pla. Es pot dir, doncs, que el concepte d'*active learning* engloba a tot tipus d'aprenentatge en què els protagonistes són els alumnes, mentre que el PBL és un concepte més concret dins l'àmbit de l'aprenentatge actiu.

3 Metodologia

Un cop justificada la compatibilitat de l'aprenentatge basat en projectes amb l'assignatura Disseny d'Avions, havent vist els principals avantatges i inconvenients d'aquest mètode, s'ha de plantejar ara una metodologia docent que es pugui aplicar en aquesta matèria. Abans, però, cal tenir present com es construeix i es planifica una assignatura. Un terme que ho explica molt bé és el *constructive alignment*, introduït als anys 90 per John Biggs [16].

3.1 Planificació d'una assignatura: *constructive alignment*

El *constructive alignment* és un concepte que parteix de dos punts de vista. D'una banda, el terme *constructive* fa referència a la idea que els estudiants construeixen el seu propi coneixement a través d'activitats d'aprenentatge. D'altra banda, la paraula *alignment* està relacionada amb la tasca del professor, la qual és crear un ambient de treball en què els alumnes puguin assolir els resultats desitjats a través de diverses activitats d'aprenentatge.

Segons Biggs, una assignatura es construeix seguint els següents quatre passos:

1. Definir els objectius docents de l'assignatura, és a dir, quins són els resultats mínims que s'espera que adquireixin els alumnes a final de curs.
2. Escollir activitats d'aprenentatge que permetin assolir els objectius definits a principi de curs.
3. Monitoritzar el progrés dels estudiants al llarg del curs definint un sistema d'avaluació.
4. Obtenir una nota final que permeti quantificar l'aprenentatge dels alumnes en relació als objectius docents.

Així doncs, per tal d'establir una metodologia docent per a l'assignatura Disseny d'Avions, serà necessari definir les activitats que es duran a terme en les sessions lectives del curs que ajudin als alumnes a adquirir els objectius docents de la matèria, els quals hauran de ser avaluats mitjançant un sistema de qualificació que permeti obtenir una nota final.

3.2 Definició de la metodologia docent

Després d'haver vist com s'ha de planificar una assignatura, s'exposa a continuació la metodologia docent que es pretén aplicar en la matèria de Disseny d'Avions.

3.2.1 Objectius principals de l'assignatura

El principal objectiu de l'assignatura és que els alumnes siguin capaços de realitzar un disseny de referència inicial d'un avió que compleixi amb uns requeriments específics que els mateixos estudiants hauran de definir. També, es pretén que l'alumnat aprengui a administrar un projecte de gran abast, el qual es desenvoluparà al llarg del curs mitjançant l'aprenentatge basat en projectes. Així doncs, els estudiants hauran de ser capaços a final de curs de defensar en públic el projecte de disseny de l'avió desenvolupat.

Pel que fa als objectius docents, es definiran més endavant en el treball a l'hora de planificar els continguts de les sessions lectives corresponents.

3.2.2 Metodologia docent de l'assignatura

La planificació de l'assignatura contempla que les sessions lectives tinguin una durada de 3 hores i tinguin lloc un cop per setmana. Tenint en compte que, de forma general, un curs té una durada de 14 setmanes, s'acostumen a dur a terme 13 sessions lectives de forma presencial que suposen 39-42 hores de treball a classe, així com 2 sessions d'avaluació. Així doncs, l'estructura de l'assignatura que es proposa, a grans trets, és la següent:

- 7 sessions lectives corresponents al mòdul d'actuacions i disseny global.
- 1 sessió d'avaluació dedicada a les presentacions parcials del projecte.
- 6 sessions lectives corresponents als mòduls de disseny dels diferents blocs funcionals d'un avió i disseny estructural d'avions.
- 1 sessió d'avaluació dedicada a les presentacions finals del projecte.

Tal i com s'ha comentat en l'apartat d'abast del treball, els continguts que tindrà el projecte de referència, és a dir, el treball que serveixi com a model per desenvolupar les sessions lectives, és el corresponent al mòdul d'actuacions i disseny global. Això inclou els següents temes: configuració general de l'avió, mètodes d'estimació d'actuacions, pesos i centrat de l'avió, dimensionat inicial, diagrama pesos-abast, polar i coeficients aerodinàmics i resistència aerodinàmica. La idea, doncs, és desenvolupar aquests temes al llarg de les primeres 7 sessions lectives del curs.

És important mencionar que el projecte que es realitza en aquesta assignatura s'ha de fer a través d'equips de treball. Després de consultar quin és el nombre òptim de participants [17], s'ha decidit que cada grup estarà format per 4 o 5 persones.

Dit això i entrant en més detall, es pretén que l'assignatura funcioni de la següent manera:

- En primer lloc, el professorat haurà desenvolupat els apunts corresponents a cada tema de l'assignatura. Aquests estaran a l'abast dels alumnes des del principi del curs. La idea és que els estudiants llegeixin aquest material didàctic abans de començar la classe presencial.
- Per tal d'assegurar que els alumnes llegeixin els apunts de l'assignatura, serà obligatori realitzar un qüestionari d'unes quatre o cinc preguntes a través de la plataforma Atenea abans de cada sessió presencial. Cal destacar que la finalitat d'aquests qüestionaris serà la de comprovar que els estudiants han revisat el material didàctic corresponent, ja que és important pel correcte funcionament de l'assignatura.
- Es pretén, doncs, que les classes presencials s'aprofitin per avançar en el projecte de l'assignatura i que deixin de ser lliçons expositives per part del professorat. Així doncs, l'estructura genèrica que es proposa per a aquestes sessions lectives de 3 hores és la que es mostra a continuació:
 - Primera part: tindrà una durada aproximada d'entre 30 i 40 minuts. Aquest temps es dedicarà, d'una banda, a resoldre possibles dubtes sobre els apunts que els alumnes hauran llegit a casa i, d'altra banda, a repassar els continguts principals mitjançant el treball de referència que s'elaborarà en aquest treball de fi de grau. Durant aquesta primera part serà important incorporar activitats pròpies de l'*active learning* per fomentar la participació activa de l'alumnat. Un exemple pot ser el de realitzar un joc competitiu de preguntes i respostes sobre els conceptes treballats.
 - Segona part: ocuparà la major part del temps de la sessió i durarà unes 2 hores, aproximadament. Els alumnes es distribuïran en grups i treballaran de forma autònoma en el projecte, realitzant l'apartat o apartats corresponents segons pertorqui seguint les pautes del professor. Durant aquesta part el professor adoptarà el rol de consultor i participarà únicament quan algun grup tingui dubtes que no es puguin resoldre amb el material disponible.
 - Tercera part: tindrà una durada aproximada d'entre 20 i 30 minuts. En aquesta part final es durà a terme una presentació oral sobre el treball realitzat en la sessió. Així doncs, s'escollirà un grup a l'atzar, el qual haurà de presentar a través de dos representants la feina que s'ha dut a terme aquell dia. Al finalitzar la presentació el professor plantejarà una sèrie de qüestions amb la idea d'orientar la feina del grup, en cas que aquesta s'estigui desviant dels objectius docents. La finalitat d'aquestes presentacions és doble;

d'una banda, es pretén que els alumnes aprofitin al màxim el temps reservat a la realització del projecte i, d'altra banda, aquest mètode pot resultar molt útil per a la resta de grups, ja que podran observar el treball de l'equip que presenta.

- Finalment, tal i com s'ha descrit abans, es reserven dues sessions per a les presentacions parcials i finals, en què els alumnes hauran de dur a terme una exposició oral del seu projecte. Abans d'aquestes sessions s'haurà d'haver entregat una memòria escrita. Aquestes presentacions hauran de tenir una durada aproximada d'entre 15 i 20 minuts, ja que al finalitzar cada una de les exposicions s'obrirà un torn de preguntes per part del professorat i els altres grups. És important destacar que la meitat del grup haurà d'exposar en la presentació parcial, mentre que l'altra meitat ho haurà de fer en la presentació final.
- Un cop acabada l'assignatura, cadascun dels integrants del grup haurà d'avaluar la feina realitzada per la resta de membres de l'equip mitjançant una enquesta individual que hauran d'entregar al professorat.

3.2.3 Sistema d'avaluació de l'assignatura

Al finalitzar el projecte s'assignarà una nota a cada grup corresponent al treball conjunt realitzat. Aquesta qualificació s'obté després de dur a terme una mitjana ponderada a partir dels següents criteris d'avaluació:

- Presentacions dutes a terme al llarg del curs (10%)
- Memòria parcial (25%)
- Presentació parcial (10%)
- Memòria final (35%)
- Presentació final (20%)

Després d'aplicar aquests percentatges s'obté la nota global, N_{global} , a la qual se li haurà d'afegir la nota corresponent a la mitjana de les qualificacions obtingudes en els qüestionaris previs a cada sessió, N_{test} , sumada a la mitjana de les notes proposades a cada integrant del grup per part de la resta de membres, N_{indiv} . La nota final de l'assignatura, N_{final} , es calcularà de la següent manera:

$$N_{final} = 0,8 N_{global} + 0,1 N_{test} + 0,1 N_{indiv}$$

4 Planificació de les sessions lectives

Un cop definida la metodologia docent de l'assignatura, s'han de planificar les primeres 7 sessions lectives de l'assignatura abans de les presentacions parcials. Per fer això, cal conèixer els temes que s'han d'incloure en aquesta primera part del curs, així com els objectius docents que els alumnes han d'assolir en cada un d'ells:

- Tema 1: Fases del projecte
 - Explicar què motiva un projecte de disseny d'un avió.
 - Identificar i descriure les característiques principals de les tres fases de disseny d'un avió.
 - Definir els següents conceptes i explicar com encaixen en el procés de disseny: configuració inicial de referència (*baseline design*), configuració congelada, certificació tipus (*airworthiness certificates*).
 - Relacionar les característiques econòmiques d'un projecte de disseny d'un avió (en termes del *Life Cycle Cost*) amb les fases del projecte.
- Tema 2: Configuració general
 - Descriure a grans trets els blocs que intervenen en el procés de disseny de la configuració de referència (*baseline design process*) i com es relacionen entre ells: estudi de mercat, configuració inicial, dimensionat conceptual, pesos i centrat, anàlisi de la missió i actuacions.
 - Explicar què són els requisits de disseny inicial (*top level requirements*) i com encaixen en el procés de disseny de la configuració de referència (*baseline design process*).
 - Definir la funció principal i descriure les característiques globals dels principals components d'un avió. En concret:
 - (a) Fuselatge: descriure com els requisits de la càrrega de pagament poden afectar el disseny; definir el concepte d'esveltesa; enumerar el principal avantatge de les diferents formes que pot tenir la secció.
 - (b) Ala: descriure les diferents formes en planta; enumerar els principals avantatges i desavantatges d'introduir més allargament, fletxa i/o estretament en l'ala; explicar què determina principalment la posició vertical de l'ala, enumerar altres aspectes que poden influir en el disseny de l'ala.
 - (c) Planta propulsora: descriure el principi bàsic de funcionament d'un turboreactor (*turbojet*), turboventilador (*turbofan*), turbohèlix (*turboprop*), motor de combustió interna alternatiu (*piston engine*) i un motor elèctric;

enumerar els principals factors a considerar en la selecció de la planta propulsora.

(d) Superfícies de cua: identificar les configuracions clàssiques i descriure'n les característiques principals; enumerar tres o més configuracions no clàssiques.

(e) Tren d'aterratge: identificar les configuracions clàssiques i descriure'n les característiques principals; enumerar altres aspectes que poden intervenir en el seu disseny.

○ Tema 3: Pesos i centrat de l'avió

- Enumerar i definir els pesos principals d'un avió: TOW, PL, OEW, FW.
- Estimar el MTOW a partir de la fórmula $MTOW = PL + FW + OEW$.
 - (a) Estimar el MPL en base a les especificacions de disseny.
 - (b) Estimar el FW en base a les especificacions de disseny i el càlcul per trams del perfil de vol (que dependrà, en part, del MTOW esperat).
 - (c) Estimar l'OEW en base a avions similars, com a funció del MTOW esperat.
- Descriure els efectes que té el centre de gravetat sobre el comportament en capcineig de l'avió.
- Interpretar el diagrama de W vs X_{CG} , incloent:
 - (a) Explicar breument com la variació del centre de gravetat (CG) pot restringir el procés de càrrega d'un avió comercial amb passatgers i/o "cargo".
 - (b) Deducir el moviment del CG després de carregar un avió a partir del diagrama de W vs X_{CG} .

○ Tema 4: Mètodes d'estimació d'actuacions

- Construir i interpretar un diagrama d'actuacions: W/P vs W/S (*propeller-driven*) o bé T/W vs W/S (*jet*):
 - (a) Definir W/P (*power loading*), T/W (*thrust-to-weight ratio*) i W/S (*wing loading*).
 - (b) Enumerar les etapes del perfil de vol típic d'un avió de transport.
 - (c) Associar cada actuació amb l'etapa corresponent.
 - (d) Explicar el significat físic de cadascuna de les 5 actuacions a partir del plantejament inicial del procés de derivació de l'equació.
 - (e) Construir un diagrama a partir de dades conegudes (especificacions inicials) d'un avió.

- (f) Identificar l'àrea de disseny admissible.
- Aplicar l'equació de Breguet per obtenir l'abast d'un avió i justificar la validesa del resultat, incloent:
 - (a) Identificar les diferències entre *jet* i *propeller-driven*.
 - (b) Explicar breument les hipòtesis aplicades i implicacions/limitacions de les mateixes.
 - (c) Argumentar maneres de millorar l'estimació d'abast.
 - (d) Argumentar maneres d'optimitzar l'abast en base a aquesta estimació.
 - (e) Comparar l'ús de l'equació de Breguet aplicada a avions de combustible vs avions elèctrics o híbrids.
- Tema 5: Dimensionat inicial
 - Descriure el procés típicament utilitzat per al dimensionat inicial d'un avió en l'etapa de disseny inicial.
 - (a) Estimar el MTOW en base a avions similars. (Tema 3, punt 2)
 - (b) Construir el gràfic d'actuacions que determinen la zona admissible de disseny. (Tema 4)
 - (c) Identificar potencials plantes propulsors i seleccionar la més adient (justificar per què ho és) d'acord amb la zona admissible de disseny identificada.
 - (d) Identificar el punt de disseny i justificar la selecció.
 - (e) Estimar la superfície alar.
 - (f) Estimar quantitats addicionals. Argumentar quines quantitats es poden estimar amb més certesa segons el punt de disseny seleccionat.
- Tema 6: Diagrama pesos-abast
 - Construir el diagrama de pesos-abast d'un avió subsònic comercial a partir dels pesos característics i dades d'abast conegudes.
 - Identificar les maneres en què es pot millorar el disseny de l'avió a través de canvis específics en aquest diagrama.
 - Definir la productivitat d'un avió i descriure el procediment per a calcular el punt de màxima productivitat en el diagrama de càrrega de pagament-abast.
- Tema 7: Resistència aerodinàmica
 - Enumerar i definir les diferents contribucions a la resistència, i relacionar-les entre elles.
 - Descriure breument com es poden predir aquestes contribucions.

- Llistar el tipus de contribucions que es sol buscar reduir a través de la introducció elements específics o de canvis en el disseny de l'avió, i descriure breument com aquests permeten reduir la resistència aerodinàmica.
- Definir la polar de l'avió i descriure com es pot ajustar la corba real amb una polar parabòlica.
- Construir la polar a partir de la determinació dels coeficients mitjançant mètodes analítics.

Així doncs, s'han d'establir els temes que s'impartiran en cada una de les sessions, el treball que hauran de realitzar els alumnes a casa i el material docent necessari que s'ha de generar. Cal destacar que aquest material, és a dir, el treball de referència i els qüestionaris previs de cada tema, han de permetre als alumnes poder assolir tots aquests objectius docents. Per tant, és important remarcar que tots aquells objectius que no es puguin desenvolupar a través del treball de referència, s'hauran de contemplar en els qüestionaris previs. Tenint tot això en compte, es presenta la Taula 2:

Taula 2. Planificació de les sessions lectives corresponents a la primera part del curs

| Sessió | Continguts de la sessió | Treball de l'alumne a casa | Material docent |
|--------|--|---|---|
| 0 | --- | Llegir els apunts del tema 1. Respondre el qüestionari del tema 1. | Qüestionari sobre el tema 1. |
| 1 | Presentació dels objectius docents de l'assignatura, la metodologia que se seguirà durant el curs i els criteris d'avaluació. Explicació dels continguts que ha de tenir el projecte de disseny conceptual d'un avió. Formació dels grups de treball i selecció del tipus d'avió a dissenyar. Exposició del tema 1 a través del treball de referència. Treball autònom dels equips de treball. Presentació oral sobre el treball realitzat a la sessió a càrrec d'un equip. | Acabar l'apartat del projecte corresponent al tema 1, en base als comentaris fets al final de la sessió 1. Llegir els apunts del tema 2. Respondre el qüestionari del tema 2. | Apartat del treball de referència corresponent al tema 1. Qüestionari sobre el tema 2. |

| | | | |
|-------|--|--|---|
| 2 - 6 | Exposició del tema de la sessió a través del treball de referència. Treball autònom dels equips de treball. Presentació oral sobre el treball realitzat a la sessió a càrrec d'un equip. | Acabar l'apartat del projecte corresponent al tema de la sessió, en base als comentaris fets al final de la sessió. Llegir els apunts del tema de la propera sessió. Respondre el qüestionari del tema de la propera sessió. | Apartat del treball de referència corresponent al tema de la sessió. Qüestionari sobre el tema de la propera sessió. |
| 7 | Exposició del tema 7 a través del treball de referència Treball autònom dels equips de treball Presentació oral sobre el treball realitzat a la sessió a càrrec d'un equip. | Acabar l'apartat del projecte corresponent al tema 7, en base als comentaris fets al final de la sessió 7. Preparar la presentació parcial del projecte i revisar la memòria escrita que s'ha d'entregar abans de la sessió 8. | Apartat del treball de referència corresponent al tema 7. |
| 8 | Presentacions parcials del projecte | --- | --- |

Observant la Taula 2 es pot apreciar que s'han utilitzat els termes *Tema de la sessió* i *Tema de la propera sessió* en les sessions 2 a 6. Això és així perquè s'han estructurat les sessions lectives de manera que a cada una d'elles li correspongui un únic tema. D'aquesta manera, el tema 2 s'impartirà en la sessió 2, el tema 3 s'estudiarà en la sessió 3, i així successivament.

Cal destacar que abans de començar la primera sessió presencial els alumnes ja hauran d'haver llegit els apunts corresponents al tema 1 i haver respost el qüestionari corresponent. Tot i que l'explicació de la metodologia docent estigui contemplada en la sessió 1, la idea és que en la guia docent s'especifiqui el funcionament de l'assignatura. A més a més, el professor també pot enviar un missatge via Atenea una setmana abans de l'inici de curs recordant-ho. D'aquesta manera, abans de començar les classes presencials els alumnes seran conscients que aquesta matèria s'impartirà a través d'un mètode PBL i que serà necessari començar a treballar abans de la primera sessió presencial.

Finalment, un altre aspecte que cal remarcar és el funcionament de la sessió 1. A diferència de les altres sessions, les quals segueixen la mecànica establerta en l'apartat de metodologia, aquesta primera sessió ha de tenir una estructura diferent. Això és així perquè es tracta d'una classe en què s'ha de fer una presentació del curs, s'ha d'explicar el projecte que els alumnes han de realitzar, s'han de formar els grups de treball i s'ha de seleccionar



el tipus d'avió a dissenyar. Idealment, els equips haurien de seleccionar el seu disseny abans d'acabar la sessió, ja que d'aquesta manera es podria realitzar una presentació oral al final de la classe sobre els requeriments que han decidit que tingui el seu avió. Si això no fos possible, aleshores s'hauria de realitzar aquesta exposició en la sessió 2, juntament amb el contingut del tema 2.

5 Elaboració del material docent

Un cop planificades les sessions lectives corresponents a la primera meitat del curs, s'ha de generar a continuació el material docent necessari de l'assignatura. És a dir, s'ha d'elaborar el treball de referència i els qüestionaris previs de cadascuna de les sessions corresponents. Cal mencionar que els càlculs realitzats en el treball de referència, així com els gràfics que es mostren en els apartats posteriors han estat realitzats mitjançant els codis de MatLab que es mostren en el document *Annexos*.

5.1 Sessió 1

El material docent que s'ha de generar per la sessió 1 està vinculat al Tema 1: Fases del projecte. D'una banda, s'ha elaborat l'apartat corresponent del treball de referència i, d'altra banda, s'ha preparat un qüestionari que els alumnes hauran de respondre abans de començar la classe.

5.1.1 Apartat del treball de referència

Avions similars

La primera fase de disseny d'un avió és el desenvolupament de la configuració. En concret, es comença pel disseny conceptual, en què cal establir les especificacions inicials abans d'idear una configuració possible.

Com a exemple, es dissenyarà un avió que sigui similar als dos avions comercials més utilitzats en l'actualitat, l'Airbus A320neo i el Boeing 737 MAX 8. En el cas del treball que han d'elaborar els alumnes, es demana que l'avió a dissenyar tingui un requeriment original, com per exemple que tingui un 10% més d'abast que el de referència, que el seu MTOFL sigui un 10% més curt, etc. No obstant, per aquest treball de referència s'ha optat per fer el disseny conceptual d'un avió amb característiques intermèdies entre els dos avions mencionats anteriorment.

Sigui com sigui, el primer que s'ha de fer és buscar les característiques principals d'aquestes dues aeronaus que serviran com a referència. D'aquesta manera, es presenta la Taula 3 a mode de resum:

Taula 3. Característiques principals dels avions similars (Font: [18, 19, 20, 21, 22, 23])

| | Airbus A320neo | Boeing 737 MAX 8 |
|-----------------------------|---|---|
| Seients | 150-180 extensible fins a 194 | 162-178 extensible fins a 210 |
| Abast | 6300 km (3400 NM) | 6570 km (3550 NM) |
| Superfície de l'ala | 122,6 m ² | 127 m ² |
| Longitud fuselatge | 37,57 m | 39,52 m |
| Diàmetre fuselatge | 3,95 m | 3,54 m |
| Envergadura | 35,8 m | 35,9 m |
| MTOW | 79000 kg | 82200 kg |
| OEW | 44300 kg | 45070 kg |
| MZFW | 64300 kg | 65950 kg |
| MFW | 22000 kg (26730 L a 0,82 kg/L) | 21150 kg (25800 L a 0,82 kg/L) |
| Volum càrrega | 44 m ³ | 43,7 m ³ |
| Mach creuer | 0,78 | 0,79 |
| MTOFL nivell del mar | 1950 m amb MTOW | 2500 m amb MTOW |
| Fotografia de l'avió |  |  |

Requeriments inicials

Tenint en compte les característiques dels avions similars, l'avió a dissenyar ha de complir els següents requeriments:

- L'avió ha de tenir una capacitat, com a mínim, per a 179 passatgers en règim de 2 classes.
- L'avió ha de tenir un abast de 3500 NM amb MPL.
- L'avió ha de volar a una velocitat de creuer de $M_{creuer} = 0,79$.
- L'avió ha de tenir un MTOFL de 2400 m amb MTOW a nivell del mar.

5.1.2 Qüestionari previ a la sessió

1. Tria l'opció/les opcions correct-a/es en relació a l'economia del projecte de disseny d'un avió:
 - a. **En finalitzar la fase de disseny detallat, tot i que el cost consumit és relativament baix, introduir canvis en el disseny pot ser prohibitiu per al fabricant.**
 - b. Al llarg del projecte, el cost consumit és inversament proporcional a la facilitat d'introduir canvis.
 - c. **Més de la meitat del cost final del projecte es compromet en les fases de disseny conceptual i preliminar.**
 - d. Més del 80% del Life Cycle Cost es determina en la fase final del projecte.

2. Tria l'opció/les opcions correct-a/es:
 - a. **El desenvolupament de la configuració de referència finalitza amb la configuració congelada.**
 - b. La certificació tipus és sempre necessària per tal que l'avió pugui volar.
 - c. La configuració de referència és el disseny final de l'avió.
 - d. **Els certificats tipus, els quals certifiquen que l'avió compleix els requisits d'aeronavegabilitat, s'obtenen a partir de prototips.**

3. Tria l'opció/les opcions correct-a/es en relació a la fase de desenvolupament de la configuració:
 - a. Inclou el disseny preliminar i el disseny detallat.
 - b. **Es sol basar en consideracions estadístiques i de semblança.**
 - c. Està vinculada a l'acceptació del client.
 - d. Defineix completament el procés de fabricació.

4. Tria l'opció/les opcions correct-a/es en relació a la fase de disseny detallat i producció:
 - a. **Està vinculada a l'acceptació del client.**
 - b. **Defineix completament el procés de fabricació.**
 - c. **Inclou la certificació tipus del disseny.**
 - d. És una fase en què la inversió econòmica i de recursos és baixa.



5. Un projecte de disseny d'avió pot estar motivat per:
 - a. La demanda d'una única aerolínia regional amb poca presència en el mercat.
 - b. Els requeriments específics de diversos clients: governs estatals, aerolínies, etc.**
 - c. Un estudi de mercat fet pel fabricant.
 - d. La necessitat d'integrar nous coneixements en avions antics, com per exemple re-dissenys o la incorporació de nova tecnologia.

5.2 Sessió 2

El material docent que s'ha de generar per la sessió 2 està vinculat al Tema 2: Configuració general. D'una banda, s'ha elaborat l'apartat corresponent del treball de referència i, d'altra banda, s'ha preparat un qüestionari que els alumnes hauran de respondre abans de començar la classe.

5.2.1 Apartat del treball de referència

Configuració general

Un cop s'han definit els requeriments inicials de l'avió a dissenyar, el següent pas és definir la configuració general de l'avió a nivell de configuració de referència inicial. S'entén com a configuració general la disposició i forma de les parts que constitueixen l'avió. D'aquesta manera, s'ha de dur a terme una selecció inicial de la forma i les característiques globals dels components principals de l'avió: fuselatge, ala, superfícies de cua, planta propulsora i tren d'aterratge.

Tenint tot això en compte, la configuració general de l'avió a dissenyar és la següent:

- L'avió tindrà un fuselatge esvelt per tal de reduir la resistència aerodinàmica amb una secció circular per suportar els esforços de pressurització.
- La superfície sustentadora estarà formada per una ala baixa per millorar l'habitabilitat de la cabina i per possibilitar l'evacuació dels passatgers per la mateixa en cas d'emergència. La forma en planta serà trapezoidal amb estretament per millorar el comportament aerodinàmic de la mateixa sense fer-la excessivament complexa i cara de manufacturar. També tindrà un cert angle de fletxa per ajudar a pal·liar els efectes de compressibilitat de l'aire a velocitats de vol elevades.
- La planta propulsora de l'avió estarà formada, com a mínim, per dos motors turbofan d'alta relació de derivació, aconseguint així una eficiència i empenta elevada en els diferents règims de vol esperats. El nombre mínim de motors s'estableix per qüestions de seguretat, assegurant així un mínim de redundància en cas de fallada de motor.
- El conjunt de cua estarà format per un estabilitzador vertical i timó de direcció juntament amb un estabilitzador horitzontal i un timó de profunditat de tal manera que s'asseguri l'estabilitat i el control adequat de l'avió. La configuració serà en forma de cua baixa per simplicitat de disseny i construcció.
- El tren d'aterratge consistirà en un tipus tricicle simple amb un tren de morro direccional i dos trens principals.

5.2.2 Qüestionari previ a la sessió

1. Selecciona quina o quines de les següents opcions no és un requeriment de disseny correcte:
 - a. L'avió ha de ser capaç de transportar 300 persones.
 - b. L'avió ha de tenir 2 motors.**
 - c. L'avió ha de tenir un abast de 300 km amb màxima càrrega de pagament.
 - d. L'avió ha de tenir una distància d'enlairament de 2100 m amb MTOW a nivell del mar.

2. El dimensionat conceptual:
 - a. Fixa totalment el número de motors i l'empenta total a l'enlairament.
 - b. Pren una sèrie d'estimacions inicials sobre característiques importants de disseny.**
 - c. Determina les dimensions finals de l'ala.
 - d. Estableix una estimació dels pesos de disseny de l'avió: càrrega, combustible, pes en l'enlairament i aterratge, i pes buit.**

3. Un fuselatge amb una esveltesa gran:
 - a. És curt i gruixut.
 - b. És menys favorable aerodinàmicament que un altre amb esveltesa petita.
 - c. Implica que la secció ha de ser circular.
 - d. Pot tenir secció rectangular.**

4. Una configuració d'ala baixa sense diedre:
 - a. És més estable a baixes velocitats que una configuració d'ala alta.
 - b. Permet un millor aprofitament de la cabina.**
 - c. Disminueix l'efecte terra.
 - d. Impossibilita allotjar el tren d'aterratge en la unió ala-fuselatge.

5. Tria l'opció/les opcions correct-a/es en relació als diferents tipus de motors aeronàutics:
 - a. Els motors alternatius de combustió interna presenten problemes a altituds elevades.**
 - b. Els turboreactors són, generalment, molt ineficients i sorollosos.**
 - c. Els motors turbohèlix generen una petita part de l'empenta mitjançant la sortida dels gasos de combustió.**
 - d. Els turboventiladors divideixen l'aire en dos camins: flux d'aire primari i flux secundari o derivat (*bypass*).**

5.3 Sessió 3

El material docent que s'ha de generar per la sessió 3 està vinculat al Tema 3: Pesos i centrat de l'avió. D'una banda, s'ha elaborat l'apartat corresponent del treball de referència i, d'altra banda, s'ha preparat un qüestionari que els alumnes hauran de respondre abans de començar la classe.

5.3.1 Apartat del treball de referència

Pesos de l'avió

Els pesos principals de l'avió s'han d'estimar en un estat inicial del projecte ja que condicionen en gran mesura el disseny funcional i les actuacions. S'utilitzaran els avions similars per a l'estimació dels pesos de l'avió a dissenyar.

Estimació del MPL

Donades les característiques de l'avió a dissenyar, la càrrega de pagament està composta pels 179 passatgers i el seu equipatge, així com altres mercaderies que l'avió pugui transportar durant el trajecte. D'aquesta manera, la màxima càrrega de pagament MPL de l'avió a dissenyar es calcula com:

$$MPL = \#pax \cdot (W_{pax+equipatge}) + \left[k_{bd} \cdot V_{bodega} - \frac{\#pax \cdot W_{equipatge}}{\rho_{equipatge}} \right] \cdot \rho_{mercaderies}$$

No obstant, primer de tot cal determinar la densitat de l'equipatge i de les mercaderies. Començant per la densitat de l'equipatge, es considera un pes de l'equipatge per cada passatger de 15 kg. Dividint aquest valor pel volum d'una maleta estàndard de 55x40x20 cm (44 L), s'obté una densitat $\rho_{equipatge}$ d'aproximadament 340 kg/m³.

D'altra banda, la densitat de les mercaderies es pot estimar mitjançant dades d'avions similars. Primerament, la càrrega situada a la bodega es pot aproximar mitjançant la diferència entre el valor de MPL (obtingut fent la diferència entre MZFW i OEW) i el pes de tots els passatgers. Si es suposa que cada passatger pesa 77 kg, un Airbus A320neo carregat amb 180 passatgers transporta 6140 kg a la bodega, mentre que un Boeing 737 MAX 8 carregat amb 178 persones en transporta, aproximadament, 7170 kg. Tenint en compte el volum de càrrega de cada aeronau, la densitat de mercaderies mitjana $\rho_{mercaderies}$ és d'uns 150 kg/m³.

Considerant tot això i prenent el rendiment d'ocupació de les bodegues com $k_{bd} = 0,85$, així com un volum de càrrega mig de $V_{bodega} = 43,85 \text{ m}^3$, s'obté el següent resultat:

$$MPL = 20870 \text{ kg}$$

Estimació del MTOW

Per l'estimació del MTOW, s'utilitza la següent expressió:

$$MTOW \geq \frac{MPL}{1 - \frac{OEW}{MTOW} - \frac{FW}{MTOW}}$$

on les fraccions OEW/MTOW i FW/MTOW es prenen a partir de dades d'avions similars.

Donat que per MPL, $FW = MTOW - MZFW$, la fórmula queda de la següent manera:

$$MTOW \geq \frac{MPL}{1 - \frac{OEW}{MTOW} - \frac{MTOW - MZFW}{MTOW}} = \frac{MPL}{\frac{MZFW}{MTOW} - \frac{OEW}{MTOW}}$$

D'aquesta manera s'obté, per cada cas:

$$MTOW_{A320neo} \geq 82450 \text{ kg}$$

$$MTOW_{B737 MAX 8} \geq 82180 \text{ kg}$$

Fent la mitjana entre ambdós valors:

$$MTOW \geq 82320 \text{ kg}$$

Estimació del OEW

Per estimar el OEW s'utilitzarà el criteri dels semblants:

$$OEW = \alpha MTOW$$

on α s'estima a partir de dades d'aeronaus similars. D'aquesta manera, es té:

$$\alpha_{A320neo} = 0,561$$

$$\alpha_{B737 MAX 8} = 0,548$$

Fent la mitjana entre tots dos valors i multiplicant pel valor de MTOW calculat abans:

$$\alpha = 0,555$$

$$OEW = 45650 \text{ kg}$$

Estimació del FW

Per estimar el FW s'utilitzen dades que provenen de taules, d'avions similars, i també fent ús de l'equació de Breguet. Primer de tot, un vol típic pot comptar amb les fases d'encesa i escalfament dels motors, rodadura, enlairament, ascens, creuer, descens, aterratge i una espera de 45 minuts. Així doncs:

$$FW = TOW \left(1 - \frac{W_1}{W_0} \frac{W_2}{W_1} \frac{W_3}{W_2} \frac{W_4}{W_3} \frac{W_5}{W_4} \frac{W_6}{W_5} \frac{W_7}{W_6} \frac{W_8}{W_7} \right)$$

on W_k representa el pes de l'avió i el subíndex k la fase, on 0 és abans de començar el vol, 1 després de l'encesa i escalfament dels motors, 2 després de la rodadura, 3 després de l'enlairament, 4 després de l'ascens, 5 després del creuer, 6 després de l'espera, 7 després del descens i 8 després de l'aterratge i rodadura fins a la porta d'embarcament. També cal remarcar que s'estudiarà el cas per TOW = MTOW.

Per les fases d'encesa i escalfament, rodadura, enlairament, ascens, descens i aterratge i rodadura fins la porta d'embarcament, s'empren les taules proporcionades a [24] per a un avió de transport, de tal manera que:

$$\frac{W_1}{W_0} = 0,99; \frac{W_2}{W_1} = 0,99; \frac{W_3}{W_2} = 0,995; \frac{W_4}{W_3} = 0,98; \frac{W_6}{W_7} = 0,99; \frac{W_8}{W_7} = 0,992$$

Per contra, per calcular les fraccions $\frac{W_5}{W_4}$ i $\frac{W_6}{W_5}$ s'utilitzen les següents expressions derivades de l'equació de Breguet:

$$\frac{W_5}{W_4} = e^{-\frac{R \cdot c_j}{v_c \cdot L/D}} \quad \frac{W_6}{W_5} = e^{-\frac{t_e \cdot c_j}{L/D}}$$

on R es l'abast, c_j el consum específic dels motors, v_c la velocitat en creuer, L/D l'eficiència aerodinàmica en règim de creuer i t_e el temps d'espera. Cal remarcar que els valors de R i v_c han estat definits als requeriments, el valor de c_j es pren de les taules extretes de [24], i el valor de L/D s'estima a partir de dades d'altres avions [25, 26], tenint en compte una certa projecció de millora en aquest aspecte amb els anys, resultant en:

$$R = 6480 \text{ km}; \quad v_c = 23013 \text{ m/s}; \quad c_j = 0,5 \frac{\text{lb}}{\text{lb} \cdot \text{h}}; \quad \frac{L}{D} = 19$$

Si es fan els càlculs pertinents, és fàcil adonar-se que la suma dels valors de FW, OEW i MPL és superior al valor de MTOW calculat anteriorment. Donat que el càlcul de FW depèn directament de MTOW, és necessari repetir el procés de càlcul amb el nou valor de MTOW fins que aquest convergeixi. D'aquesta manera, finalment s'obté que:

$$FW = 21940 \text{ kg}$$

$$MTOW = 88470 \text{ kg}$$

on FW representa el pes de combustible necessari per assolir el rang marcat als requeriments amb MPL. Cal remarcar que l'increment en el MTOW respecte altres avions similars es deu principalment als valors de L/D i c_j escollits, els quals no estan actualitzats i, per tant, seria recomanable realitzar una cerca més exhaustiva dels avions de referència escollits per obtenir un resultat més exacte.

Per acabar amb l'estimació de pesos, també es calcula el valor de MFW mitjançant un procediment equivalent a l'emprat per obtenir el OEW. D'aquesta manera:

$$MFW = \beta MTOW$$

on β s'estima a partir de dades d'avions similars. D'aquesta manera, es té:

$$\beta_{A320neo} = 0,279$$

$$\beta_{B737 MAX 8} = 0,257$$

Fent la mitjana entre tots dos valors i multiplicant pel valor de MTOW calculat abans:

$$\beta = 0,268$$

$$MFW = 23700 \text{ kg}$$

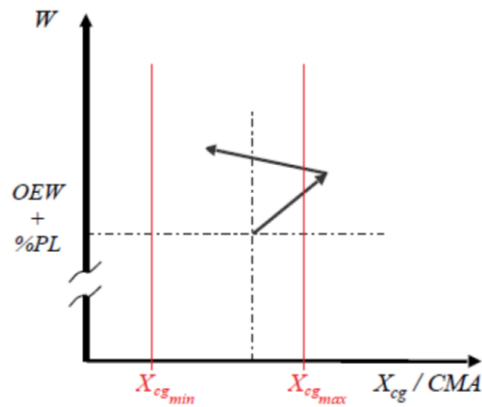
5.3.2 Qüestionari previ a la sessió

1. El Take-Off Weight (TOW), entès com $TOW < MTOW$, inclou:
 - a. **Operational Empty Weight (OEW) + Payload (PL) + Fuel Weight (FW).**
 - b. Operational Empty Weight (OEW) + Maximum Payload (MPL) + Maximum Fuel Weight (MFW).
 - c. **Zero Fuel Weight (ZFW) + Trip Fuel (TF) + Reserve Fuel (RF) + additional fuel.**
 - d. Zero Fuel Weight (ZFW) + Maximum Fuel Weight (MFW).

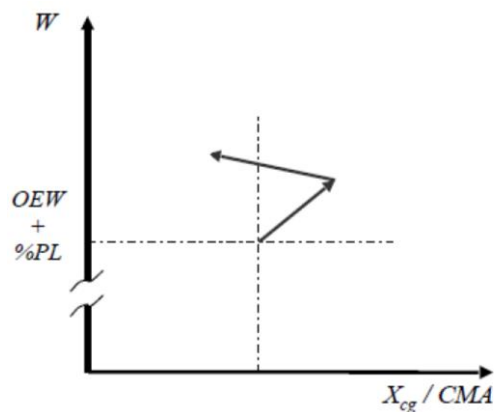
2. És important definir la posició del centre de gravetat (CG) ja que té una gran influència sobre:
 - a. **El comportament en capcineig de l'avió.**
 - b. **Les actuacions de l'avió.**
 - c. **El comportament estructural de l'avió.**
 - d. Els materials a utilitzar en el disseny estructural de l'avió.

3. La posició del centre de gravetat (CG) es sol referenciar respecte:
 - a. El caire d'atac del perfil arrel.
 - b. **El caire d'atac de la corda mitja aerodinàmica.**
 - c. El caire d'atac de la corda mitja geomètrica.
 - d. El caire de sortida del perfil arrel.

4. Marca l'opció/les opcions correct-a/es en referència al procediment de càrrega d'un avió descrit al següent diagrama:



- El procediment de càrrega és totalment correcte.
 - El procediment de càrrega és incorrecte ja que s'ha sobrepassat un límit de posició del centre de gravetat.**
 - El procediment de càrrega és incorrecte, però vàlid, ja que el centre de gravetat acaba dins dels marges establerts pel fabricant.
 - El procediment de càrrega és incorrecte, però vàlid, ja que només s'ha sobrepassat un límit de posició del centre de gravetat.
5. Marca l'opció/les opcions correct-a/es en referència al procediment de càrrega d'un avió descrit al següent diagrama:



- L'avió només es carrega a la cua.
- L'avió es carrega des del morro fins a la cua.
- L'avió només es carrega al morro.
- L'avió es carrega des de la cua fins al morro.**

5.4 Sessió 4

El material docent que s'ha de generar per la sessió 4 està vinculat al Tema 4: Mètodes d'estimació d'actuacions. D'una banda, s'ha elaborat l'apartat corresponent del treball de referència i, d'altra banda, s'ha preparat un qüestionari que els alumnes hauran de respondre abans de començar la classe.

5.4.1 Apartat del treball de referència

Estimació d'actuacions

Un cop obtingut el MTOW, el següent pas en el disseny preliminar és determinar la superfície alar i la potència o empenta dels motors. A diferència del càlcul del pes de l'avió, aquest pas en el disseny es basa en la teoria de la mecànica de vol. Així doncs, s'han d'estimar les principals actuacions de l'avió mitjançant les fórmules corresponents, les quals estableixen una zona admissible de disseny en el diagrama T/W vs W/S. Cal mencionar que en el cas d'avions *propeller-driven* s'utilitza el diagrama W/P vs W/S, però el procediment per construir les gràfiques és anàleg al que es descriu a continuació.

Donat que l'avió encara està en una fase inicial de disseny, moltes de les dades necessàries per a la realització d'aquesta tasca no estan encara disponibles. Per tant, serà necessari prendre aquestes dades mancants d'altres fonts, com ara d'avions similars o de taules extretes de llibres o informes de recerca.

Les actuacions que s'estudiaran són l'enlairament, l'ascens en segon segment amb fallada de motor, la pujada accelerada, el vol horitzontal en creuer i l'aterratge.

Distància d'enlairament

Començant per la distància d'enlairament, el requeriment ve definit per la següent expressió:

$$\frac{T_{to}}{W_{to}} \geq k_{to} \cdot \frac{\frac{W_{to}}{S_w}}{\sigma C_{L,MAXto} S_{toFL}}$$

on k_{to} és el *take-off parameter* i té un valor de 37,5 ft³/lbf [24], σ és la relació de densitats respecte l'alçada d'enlairament i el nivell del mar i S_{toFL} és la distància d'enlairament. Donat que tant aquest últim paràmetre com σ estan definits als requeriments, directa o indirectament, només resta un valor per determinar, el coeficient de sustentació màxim en l'enlairament, $C_{L,MAXto}$, ja que $\frac{W_{to}}{S_w}$ i $\frac{T_{to}}{W_{to}}$ són variables. Així doncs, a partir de taules extretes

de [24] s'ha considerat que un valor acurat de $C_{L,MAXto}$ per a un avió d'aquestes característiques equival a 2,2.

Amb tot això, s'obté el gràfic representat en la Figura 1, en què la zona blanca representa l'àrea admissible de disseny:

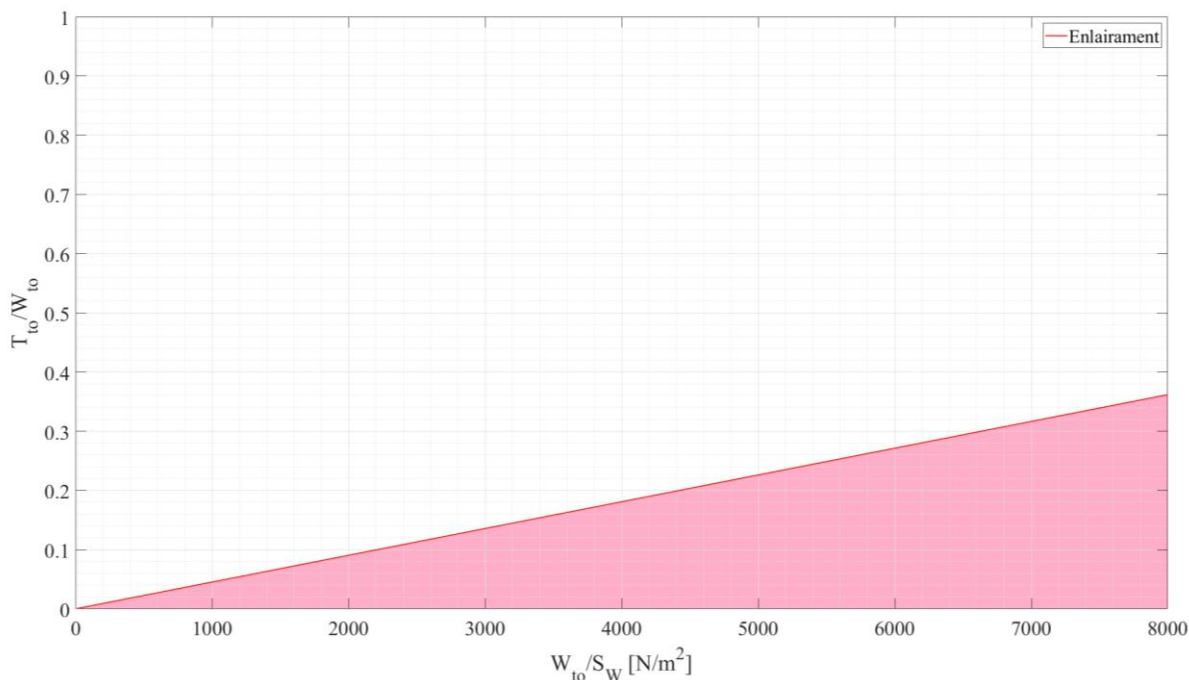


Figura 1. Diagrama resultant del requeriment de distància d'enlairament. La zona admissible de disseny es mostra en color blanc

Distància d'aterratge

Continuant amb la distància d'aterratge, aquesta ve definida per la següent expressió:

$$\frac{T_{to}}{S_w} \geq k_l \cdot \frac{W_{to}}{W_l} \cdot \sigma C_{L,MAXl} s_{IFL}$$

on k_l és el *landing parameter* i té un valor de 1,05 N/m³ [24]; $\frac{W_{to}}{W_l}$ és la fracció entre el pes de l'aeronau a l'enlairament i l'aterratge, que per a un avió d'aquestes característiques pren un valor mitjà de 0,84 [24]; σ és la relació de densitats respecte l'alçada d'aterratge i el nivell del mar, que, igual que per l'enlairament, s'ha pres com a 1; $C_{L,MAXl}$ és el coeficient de sustentació màxim a l'aterratge i s_{IFL} és la distància d'aterratge. A partir de taules extretes de [24], s'estima que el valor de $C_{L,MAXl}$ pot ser de 2,8. D'altra banda, per obtenir el valor de s_{IFL} s'ha seguit el procediment indicat a [24], on s'explica que s_{IFL} , en peus, es pot calcular multiplicant la velocitat d'aproximació, en nusos, al quadrat per 0,3. Per obtenir la velocitat d'aproximació també s'ha seguit el procediment explicat al mateix llibre, on s'indica que

aquesta pren un valor aproximat de 1,3 vegades la velocitat d'entrada en pèrdua (calculada a partir de dades d'aeronaus similars com a 204 km/h).

Amb tot això, s'obté el gràfic representat en la Figura 2, en què la zona blanca representa l'àrea admissible de disseny:

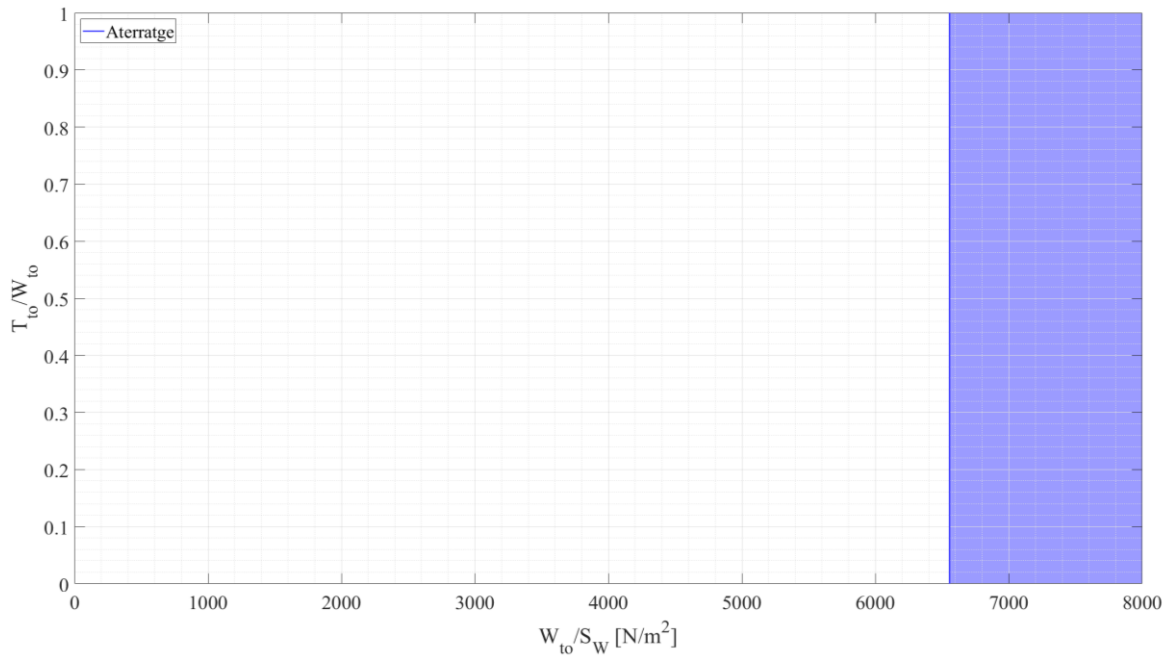


Figura 2. Diagrama resultant del requeriment de distància d'aterratge. La zona admissible de disseny es mostra en color blanc

Ascens en segon segment amb fallada de motor

Prosseguint amb la pujada en segon segment amb fallada crítica de motor, la normativa internacional dicta que, per una aeronau d'aquestes característiques, s'ha de poder mantenir una pujada amb pendent del 2,7% amb un dels motors inoperatiu. La inequació que descriu aquest requeriment és la següent [24]:

$$\frac{T}{W} \geq \frac{N_e}{N_e - 1} \left[\left(\frac{L}{D} \right)^{-1} + CGR \right]$$

on N_e és el nombre de motors, inicialment establert com 2, $\frac{L}{D}$ és l'eficiència aerodinàmica en aquestes condicions i CGR és el pendent d'ascens ja comentat. Així doncs, cal calcular el valor de $\frac{L}{D}$ sota aquestes condicions. Per fer-ho, es simplifica aquesta fracció a la fracció de coeficients aerodinàmics $\frac{L}{D} = \frac{C_L}{C_D}$, on s'assumeix que $C_L = C_{L,MAX_{to}}$ i que el coeficient de resistència aerodinàmica es pot aproximar per la polar de manera que $C_D = C_{D_0} + \frac{C_L^2}{\pi A e}$. Així

doncs, C_{D0} s'estima amb valor 0,025, on 0,015 és el coeficient de resistència paràsita estàndard al qual es suma una contribució de 0,01 degut al desplegament de diferents superfícies aerodinàmiques, com ara flaps [24, 27]. Per estimar l'allargament A es prenen valors de referència d'altres avions, resultant en un valor de 10,3. Finalment, el factor d'eficiència d'Oswald e s'estima en 0,8 a partir de taules extretes de [24].

D'aquesta manera, s'obté el gràfic representat en la Figura 3, en què la zona blanca representa l'àrea admissible de disseny:

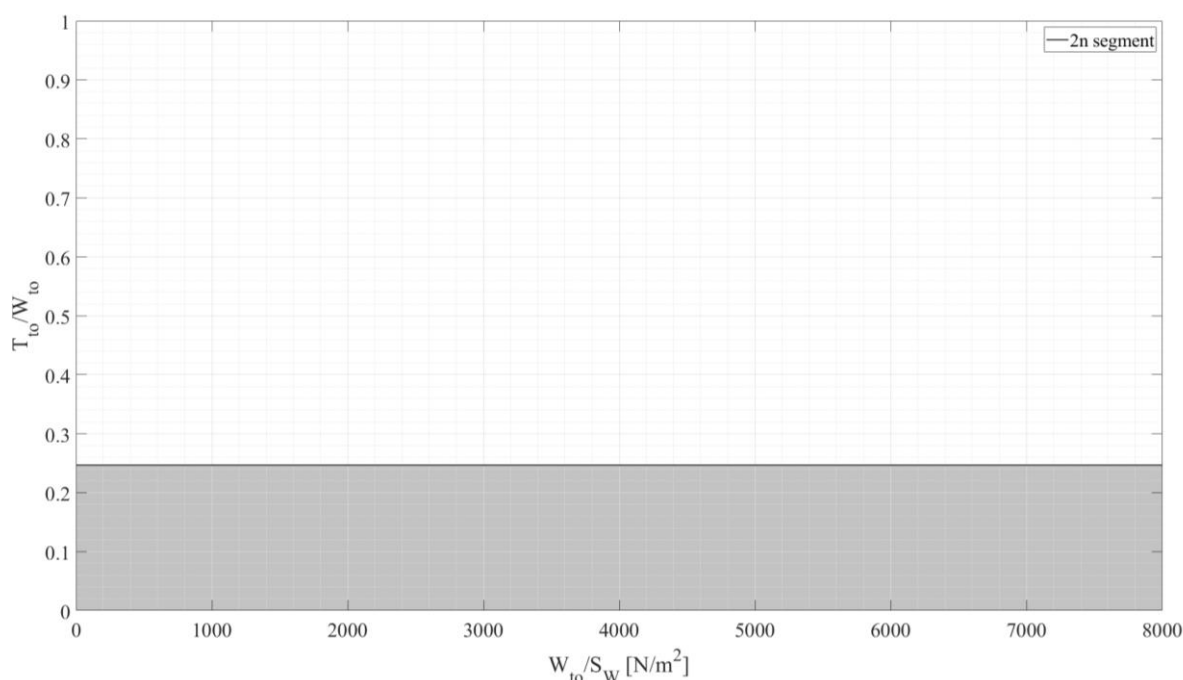


Figura 3. Diagrama resultant del requeriment de pujada en segon segment. La zona admissible de disseny es mostra en color blanc

Pujada accelerada

Pel que fa a la pujada accelerada, l'equació que governa aquest tipus d'actuació és la següent:

$$\frac{T_{to}}{W_{to}} \geq \frac{ROC_{max}}{\sqrt{\frac{2 W_{to}}{\rho_0 S_w}}} (\pi A e C_{D0})^{\frac{1}{4}} + \frac{1}{\left(\frac{L}{D}\right)_{max}}$$

on ROC_{max} és la màxima taxa d'ascens i es suposa 24 m/s (pujada respecte al terra de 20° a 250 km/h); ρ_0 és la densitat ISA a nivell del mar i, com ja s'ha explicat amb anterioritat, A és l'allargament amb valor 10,3; e és el factor d'eficiència d'Oswald amb valor 0,8; C_{D0} és el coeficient de resistència paràsita estimat en 0,015 i $(L/D)_{max}$ és l'eficiència aerodinàmica màxima amb un valor de 19.

D'aquesta manera, s'obté el gràfic representat en la Figura 4, en què la zona blanca representa l'àrea admissible de disseny:

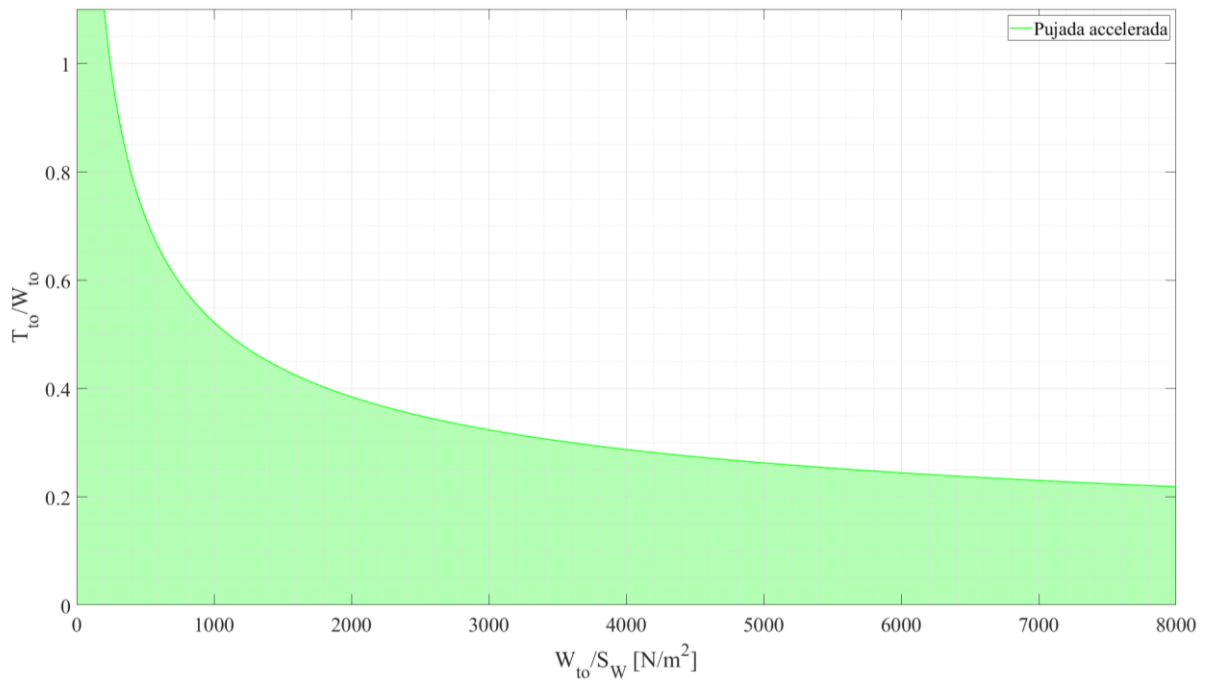


Figura 4. Diagrama resultant del requeriment de pujada accelerada. La zona admissible de disseny es mostra en color blanc

Vol horitzontal en creuer

Finalment, les condicions de vol horitzontal en creuer venen definides per la següent expressió:

$$\frac{T_{to}}{W_{to}} \geq \frac{T_{to}}{T_{cr}} \frac{W_{cr}}{W_{to}} \frac{\frac{1}{2} \rho V^2}{\frac{W_{to}}{S_w} \frac{W_{cr}}{W_{to}}} \left(C_{D_0} + \frac{\left(\frac{W_{to}}{S_w} \frac{W_{cr}}{W_{to}} \right)^2}{\left(\frac{1}{2} \rho V^2 \right)^2 \pi A e} \right)$$

on $\frac{W_{to}}{S_w}$ és una variable; T_{to} és l'empenta a l'enlairament i s'ha estimat com el 92,8% del màxim a partir de dades d'avions similars [28]; T_{cr} és l'empenta al creuer i pren un valor inicial del 50% del màxim a nivell del mar; W_{cr} es calcula a partir de W_{to} amb les fraccions massiques indicades en apartats anteriors; ρ és la densitat de l'aire en creuer estimada segons condicions ISA a 11 km d'alçada com 0,364 kg/m³; V és la velocitat en creuer extreta dels requeriments de l'aeronau i, tal com s'ha indicat abans, C_{D_0} s'estima amb valor 0,015; l'allargament A com 10,3 i el factor d'eficiència d'Oswald e com 0,8.

Amb tot això, s'obté el gràfic representat en la Figura 5, en què la zona blanca representa l'àrea admissible de disseny:

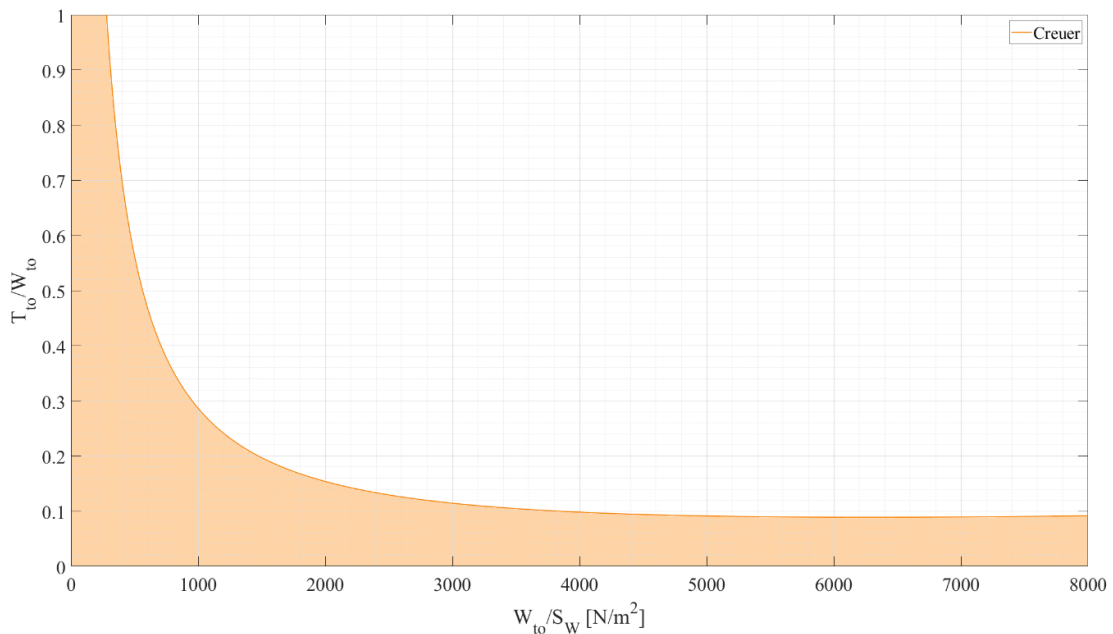


Figura 5. Diagrama resultant del requeriment de vol horitzontal en creuer. La zona admissible de disseny es mostra en color blanc

5.4.2 Qüestionari previ a la sessió

1. Tria l'opció/les opcions correct-a/es:
 - a. El power loading és el resultat de dividir la potència del motor entre el pes de l'avió i s'utilitza per caracteritzar avions amb motor tipus turbofan.
 - b. El wing loading és el resultat de dividir la superfície de l'ala entre el pes de l'avió.
 - c. El thrust-to-weight ratio és el resultat de dividir l'empenta entre el pes de l'avió.**
 - d. El wing loading indica quanta càrrega pot suportar cada unitat d'àrea de l'ala.**
2. Respecte a l'equació de Breguet:
 - a. Es suposa eficiència aerodinàmica constant durant el procés de derivació.**
 - b. L'equació no depèn del tipus de motor (motor a hèlix o motor a reacció) de l'avió.
 - c. En cap cas intervé el Mach de vol.
 - d. Es sol aplicar aquesta equació a segments de vol petits per millorar la precisió del càlcul.**

3. Segons l'equació de Breguet, es pot millorar el rang si:
 - a. **S'incrementa el valor d'eficiència de l'hèlix en avions amb motor turbohèlix.**
 - b. **S'incrementa l'eficiència aerodinàmica de l'avió.**
 - c. **Es disminueix el consum específic del motor en avions amb motor turbofan.**
 - d. S'incrementa el consum específic del motor en avions amb motor turbohèlix.

4. Segons l'equació de Breguet per avions elèctrics:
 - a. **El rang típicament augmenta amb l'increment de pes de les bateries.**
 - b. El pes de l'avió varia amb el nivell de càrrega de les bateries.
 - c. A major eficiència aerodinàmica, menor rang.
 - d. El rang de l'avió serà major si s'augmenta la massa en l'enlairament.

5. Tria l'opció/les opcions correct-a/es en relació al diagrama d'actuacions d'un avió tipus *jet* (T/W vs W/S):
 - a. L'actuació relacionada amb la distància d'aterratge genera una línia recta horitzontal en el diagrama d'actuacions.
 - b. L'actuació relacionada amb la distància d'enlairament genera una línia recta horitzontal en el diagrama d'actuacions.
 - c. Qualsevol zona que es trobi per sobre de la recta determinada per la pujada en segon segment amb fallada crítica de motor serà zona admissible de disseny.
 - d. **L'actuació relacionada amb la distància d'aterratge genera una línia recta vertical en el diagrama d'actuacions.**

5.5 Sessió 5

El material docent que s'ha de generar per la sessió 5 està vinculat al Tema 5: Dimensionat inicial. D'una banda, s'ha elaborat l'apartat corresponent del treball de referència i, d'altra banda, s'ha preparat un qüestionari que els alumnes hauran de respondre abans de començar la classe.

5.5.1 Apartat del treball de referència

Dimensionat inicial

Un cop estimats els requeriments deguts a les actuacions de l'avió, es pot passar a determinar el punt de disseny a partir del qual es podrà calcular la superfície alar i l'empenta de l'avió a dissenyar. Abans de poder determinar aquests paràmetres, però, cal fer la tria de motors. Per dur a terme aquesta tasca, s'han pres dades, principalment d'empenta màxima, dels motors d'avions similars. Els motors seleccionats són els següents:

- CFM International LEAP-1A24: 106,8 kN [29]
- CFM International LEAP-1A29: 130,3 kN [29]
- Pratt & Whitney PW1127G-JM: 120,4 kN [30]

Per poder presentar aquestes dades en el diagrama d'actuacions, les empentes dels respectius motors han estat tractades d'acord amb les característiques de l'avió a dissenyar. Per tant, s'han multiplicat pel nombre de motors i pel percentatge d'empenta a l'enlairament, i dividit pel valor de MTOW. D'altra banda, i a mode de comparació, s'han inclòs els punts de disseny dels avions similars. El resultat es mostra en la Figura 6, on la zona admissible de disseny és la intersecció de les zones admissibles de disseny de totes les actuacions:

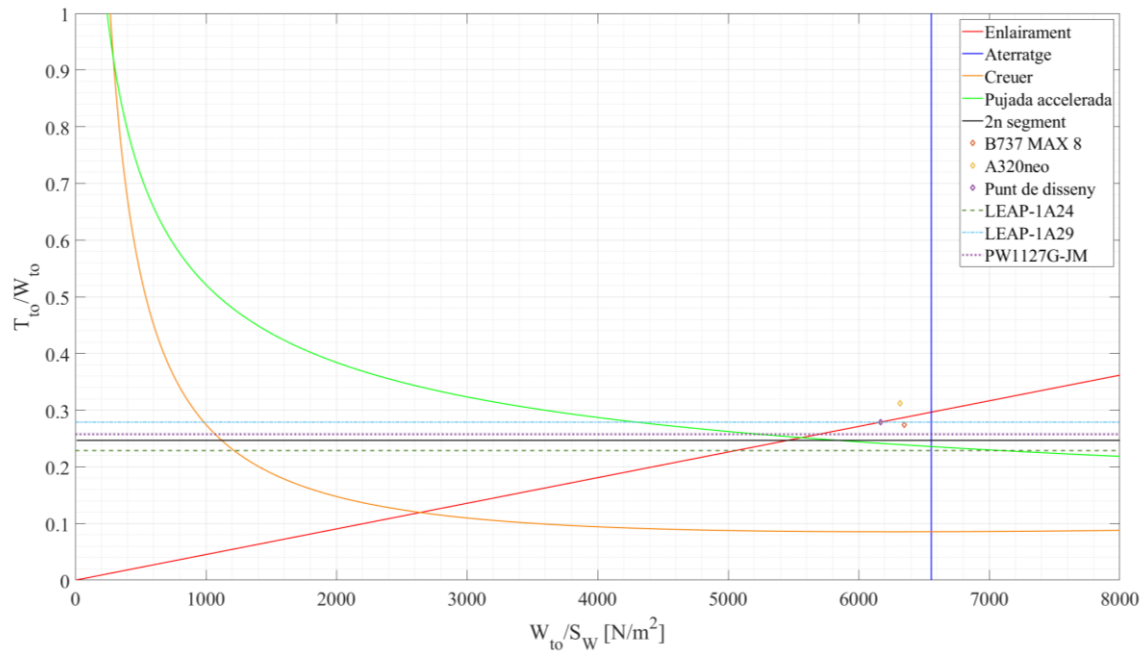


Figura 6. Diagrama d'actuacions amb la zona admissible de disseny i els punts de disseny dels avions de referència

Per qüestions d'eficiència i rendibilitat, el punt de disseny ha de situar-se el més a la dreta possible dins de la zona admissible del diagrama, de manera que s'obtingui el major valor possible de W_{to}/S_w . Per fer això, s'ha d'escollir el motor amb el T_{to}/W_{to} més elevat, de manera que s'ha optat finalment per seleccionar el CFM International LEAP-1A29, donant el següent punt de disseny:

$$\frac{T_{to}}{W_{to}} = 0,279 \quad ; \quad \frac{W_{to}}{S_w} = 6166 \text{ N/m}^2$$

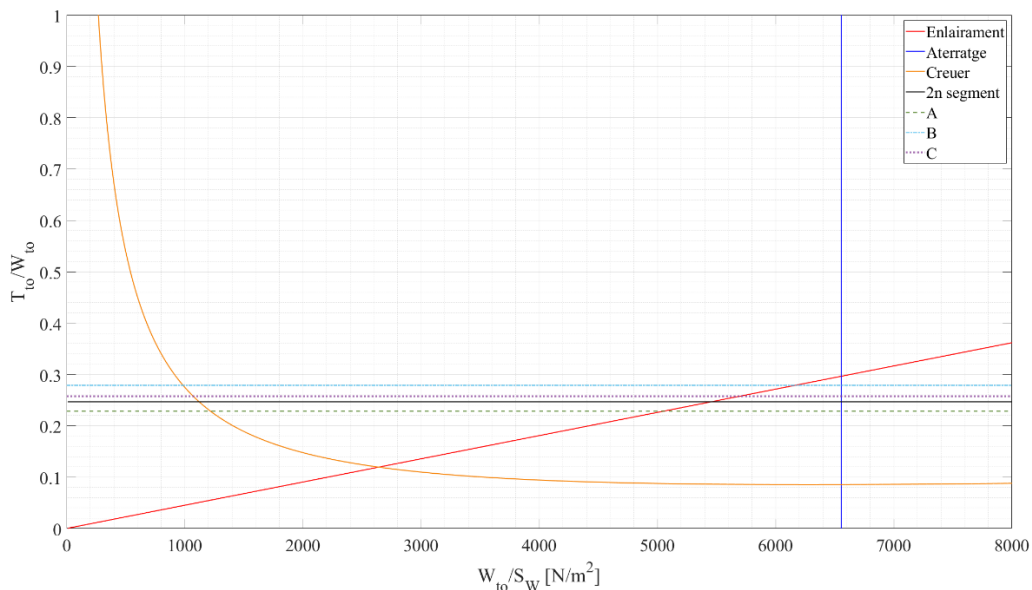
$$S_w = 140,75 \text{ m}^2$$

Cal remarcar que l'increment en la superfície alar vers els altres avions similars es deu principalment a dos factors: el primer és el pes superior de l'avió a dissenyar; el segon és el punt de disseny en sí, ja que, com es pot veure a la Figura 6, es troba a l'esquerra dels punts de disseny dels avions de referència.

5.5.2 Qüestionari previ a la sessió

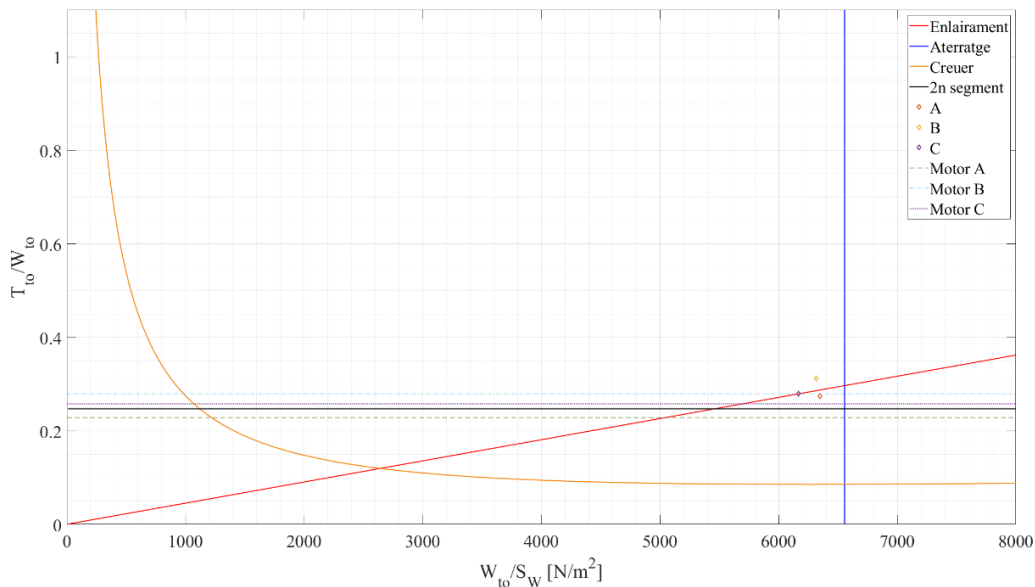
1. Un cop obtingut el punt de disseny:
 - a. Es pot obtenir una estimació preliminar de la superfície total de l'ala.
 - b. Es pot obtenir el tipus de motor de l'avió.
 - c. Es pot obtenir una estimació preliminar del valor d'esveltesa del fuselatge.
 - d. Es pot obtenir la posició del tren d'aterratge.

2. Tria l'opció/les opcions correct-a/es en referència al següent diagrama d'actuacions:



- El motor A és el més adient per escollir el punt de disseny.
- El motor B queda sempre fora de la zona admissible de disseny.
- El motor C és el menys adient per escollir el punt de disseny.
- Els motors B i C són opcions possibles per escollir el punt de disseny.**

3. Tria l'opció/les opcions correct-a/es en referència al següent diagrama d'actuacions:



- El punt B és fora de la zona admissible de disseny.
- El punt C és el que presenta menys càrrega alar.**
- El punt A és el més adient per prendre'l com a punt de disseny.
- Tots els punts estan dins de la zona admissible de disseny.

4. Suposant que el punt de disseny d'un avió cau a les coordenades (6166; 0,289) i que el MTOW és de 88470 kg, la superfície alar equival a:

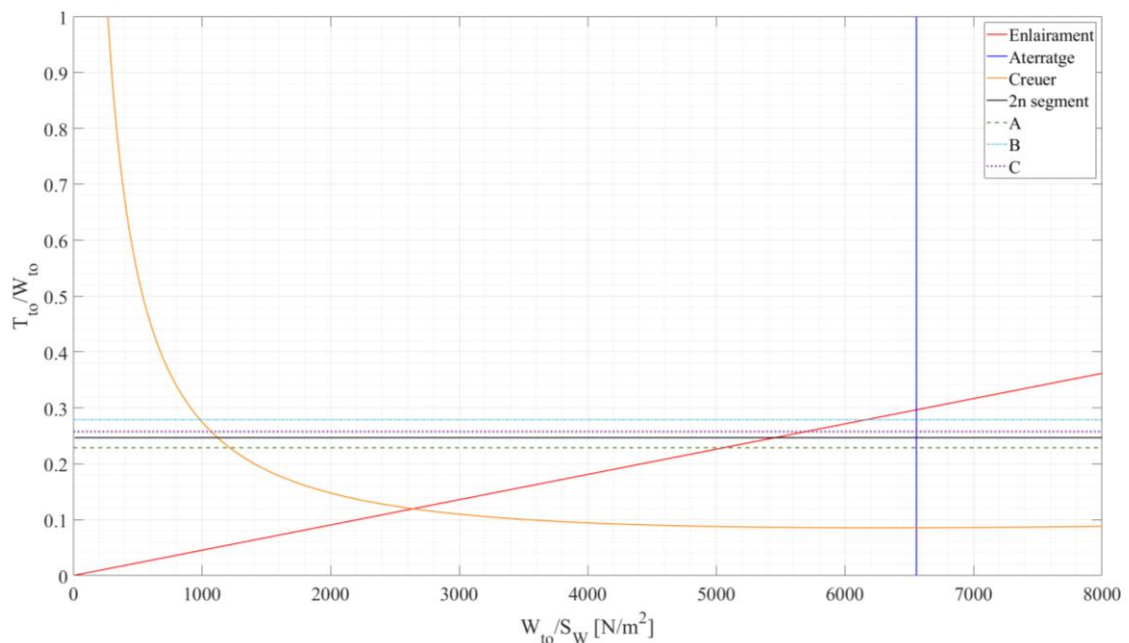
- 140,75 m²
- 135,35 m²
- 122,47 m²
- Un altre valor (especifica quin)

5. Suposant que un avió bimotor té un MTOW de 88470 kg i que a l'enlairament s'aplica un 92,8% de l'empenta màxima, selecciona quina o quines de les següents afirmacions són correctes en referència al següent diagrama d'actuacions:

T/W Planta propulsora A: 0,2284

T/W Planta propulsora B: 0,2786

T/W Planta propulsora C: 0,2576



- El motor d'una de les tres propostes de planta propulsora (A, B o C) té una empenta màxima de 120,4 kN.**
- El motor utilitzat en la proposta de planta propulsora B té una empenta màxima de 130,3 kN.**
- El motor d'una de les tres propostes de planta propulsora (A, B o C) té una empenta màxima de 110,5 kN.
- El motor utilitzat en la proposta de planta propulsora A té una empenta màxima de 97 kN.

5.6 Sessió 6

El material docent que s'ha de generar per la sessió 6 està vinculat al Tema 6: Diagrama pesos-abast. D'una banda, s'ha elaborat l'apartat corresponent del treball de referència i, d'altra banda, s'ha preparat un qüestionari que els alumnes hauran de respondre abans de començar la classe.

5.6.1 Apartat del treball de referència

Un cop estimats els pesos principals de l'avió, també es pot procedir a calcular el diagrama de pesos-abast del mateix. Per dur a terme aquesta tasca, es segueix un procediment molt similar a l'emprat per calcular el FW amb les diferents configuracions a estudiar. Seguint amb la mateixa terminologia emprada amb anterioritat, es té que el valor de les fraccions $\frac{W_1}{W_0}, \frac{W_2}{W_1}, \frac{W_3}{W_2}, \frac{W_4}{W_3}, \frac{W_6}{W_7}, \frac{W_8}{W_7}$ es manté. Cal recordar que el subíndex 0 és abans de començar el vol, 1 després de l'encesa i escalfament dels motors, 2 després de la rodadura, 3 després de l'enlairament, 4 després de l'ascens, 5 després del creuer, 6 després de l'espera, 7 després del descens i 8 després de l'aterratge i rodadura fins a la porta d'embarcament. No obstant, al contrari que a l'apartat de Pesos i centrat de l'avió, la fracció $\frac{W_5}{W_4}$ deixa de ser una incògnita i passa a ser una dada amb un valor diferent en funció de la configuració de pesos escollida. També cal destacar que es pren $W_5 = W_6$ ja que es suposa que el combustible de reserva no s'utilitza. Sabent que $W_8 = OEW + PL + RF$ en tot cas, es pot obtenir W_5 mitjançant les fraccions ja comentades:

$$W_5 = W_6 = W_8 \cdot \frac{W_7}{W_8} \cdot \frac{W_6}{W_7}$$

De forma similar, sabent que $W_0 = OEW + PL + FW$ en tot cas, es pot obtenir W_4 mitjançant les següents fraccions:

$$W_4 = W_0 \cdot \frac{W_1}{W_0} \cdot \frac{W_2}{W_1} \cdot \frac{W_3}{W_2} \cdot \frac{W_4}{W_3}$$

Així doncs, es pot calcular l'abast de l'avió per a diferents configuracions de PL i FW.

La primera configuració a calcular és amb $FW = 0$, on la solució és trivial amb $R_0 = 0$ km. La segona configuració és amb $PL = MPL$ i $FW = MTOW - OEW - MPL$, és a dir, la imposada com a requeriment. Per tant, l'abast és $R_{MPL} = 3500 \text{ NM} = 6480 \text{ km}$.

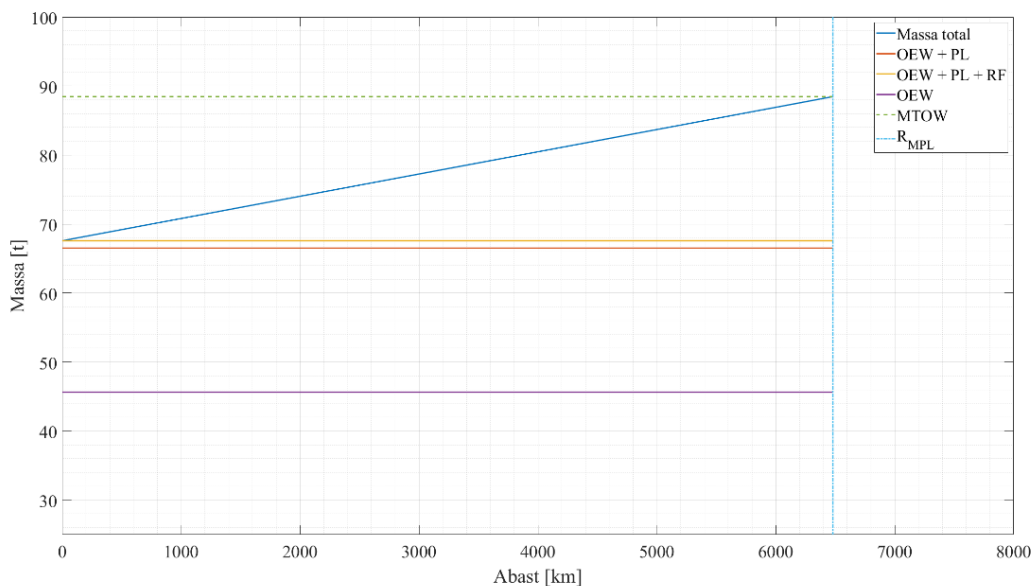


Figura 7. Diagrama pesos-abast de l'avió fins a l'abast amb càrrega de pagament màxima

Com es pot observar a la Figura 7, la massa total de l'avió a l'enlairament va creixent a mesura que es va sumant massa de combustible fins a arribar a MTOW. En aquest tram, l'abast de l'avió creix linealment amb la massa.

La tercera configuració és amb $FW = MFW$ i $PL = MTOW - OEW - MFW$, és a dir, amb els dipòsits de combustible completament plens i amb càrrega de pagament fins a arribar a MTOW. Fent els càlculs, s'obté que $R_{MFW} = 7310$ km.

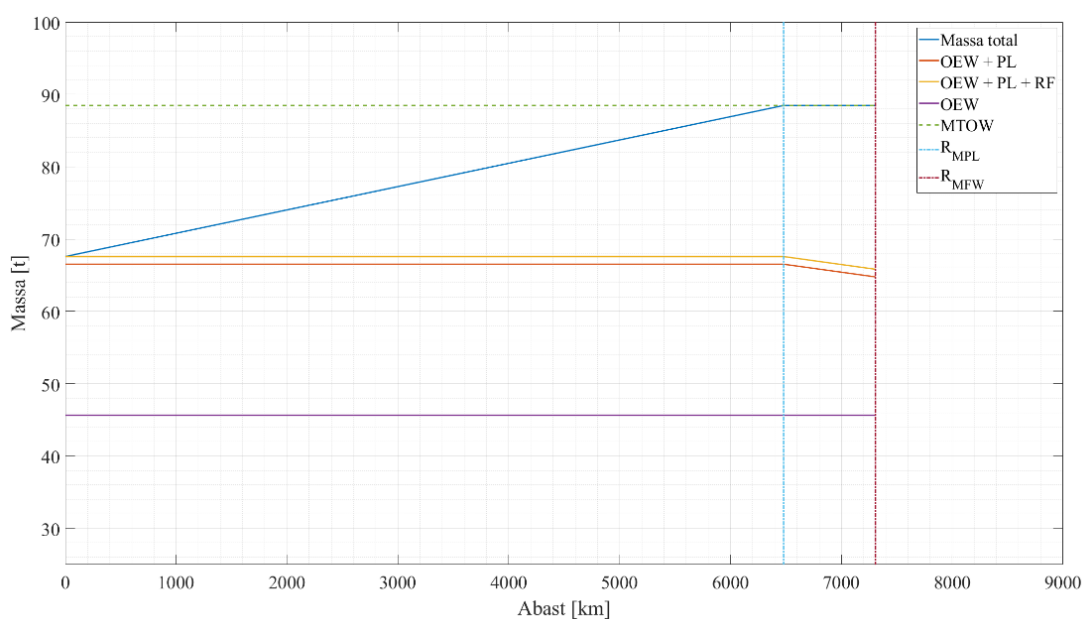


Figura 8. Diagrama pesos-abast de l'avió fins a l'abast amb màxima càrrega de combustible

Observant la Figura 8 es pot apreciar que la massa total de l'avió a l'enlairament es manté constant ja que el pes de combustible incrementa a mesura que la càrrega de pagament disminueix.

Finalment, l'última configuració a tenir en compte és la de màxim abast, és a dir, amb els dipòsits de combustible plens i sense càrrega de pagament. Aquest abast pot ser útil, per exemple, en el cas d'una hipotètica entrega de l'avió per part del fabricant a una aerolínia client. En aquestes condicions, s'ha obtingut un abast $R_{MAX} = 10440$ km. A mode de resum, la Figura 9 mostra el diagrama pesos-abast de l'avió:

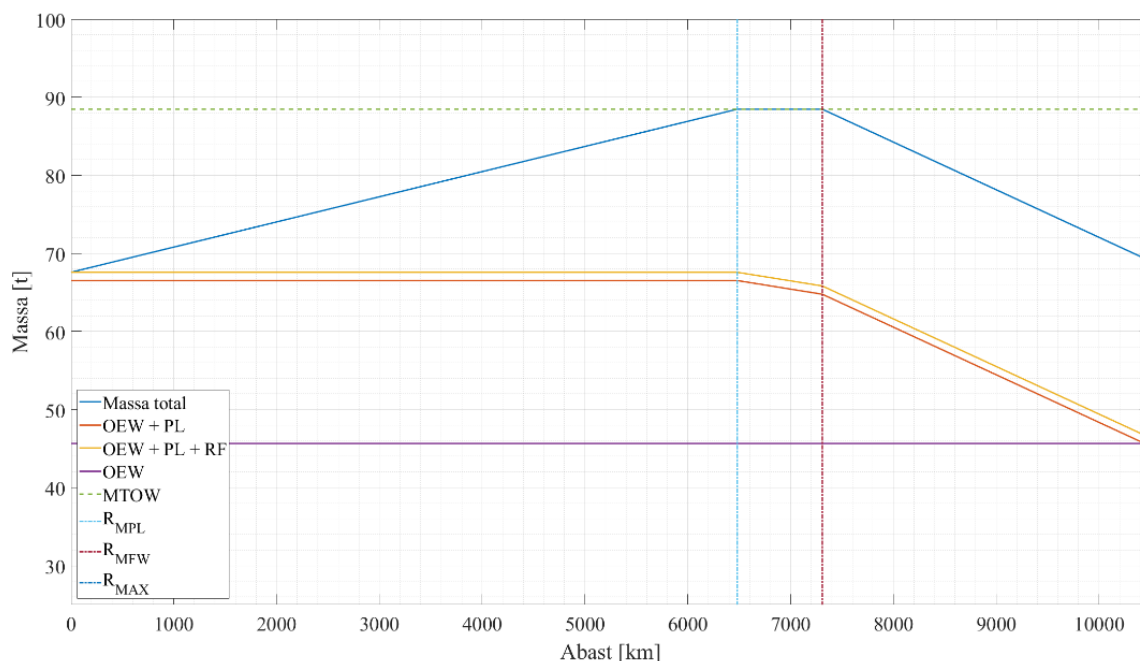


Figura 9. Diagrama pesos-abast de l'avió

Com es pot observar a la Figura 9, la massa total de l'avió a l'enlairament disminueix a mesura que ho fa la càrrega de pagament ja que s'ha arribat al límit de massa de combustible que l'aeronau pot transportar. L'abast incrementa linealment amb la disminució de la massa, tot i que ho fa amb un pendent superior en valor absolut als casos anteriors.

A partir d'aquest gràfic es pot extreure directament el diagrama càrrega de pagament-abast mostrat a continuació:

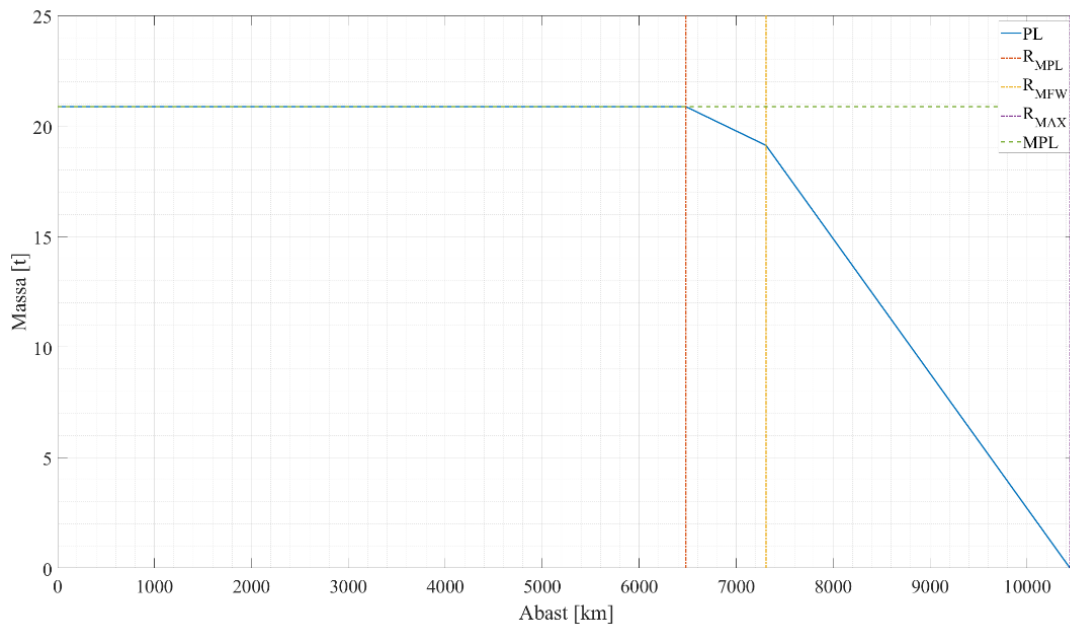
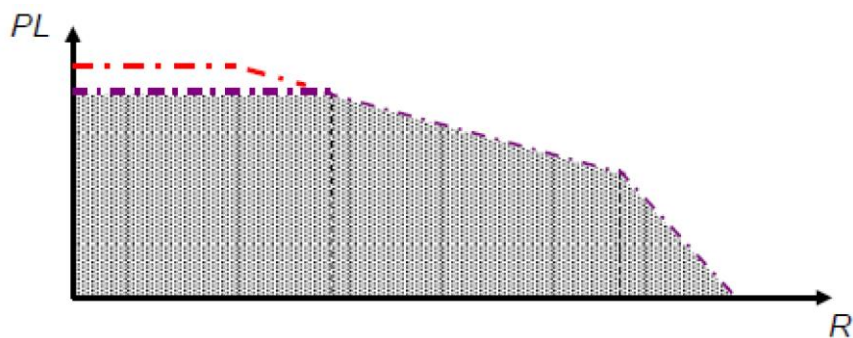


Figura 10. Diagrama càrrega de pagament-abast de l'avió

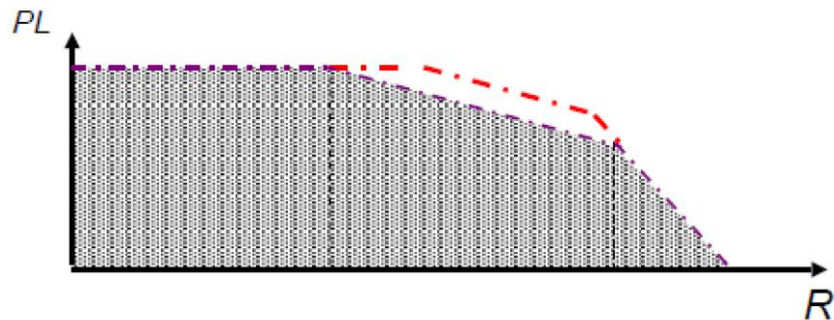
5.6.2 Qüestionari previ a la sessió

1. Marca l'opció/les opcions correct-a/es en referència al significat de la línia vermella al següent diagrama de càrrega de pagament-abast:

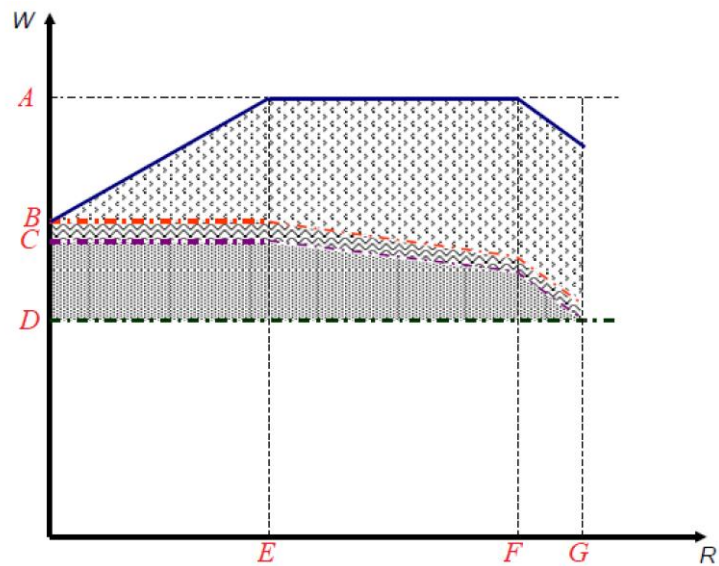


- a. Fa referència a un altre avió amb major MPL.
- b. Fa referència a un altre avió amb major rang amb MPL.
- c. Fa referència a un altre avió amb major MFW.
- d. Fa referència a un altre avió en què s'ha augmentat el MZFW, però mantenint el OEW.

2. Marca l'opció/les opcions correct-a/es en referència al significat de la línia vermella al següent diagrama de càrrega de pagament-abast:



- Fa referència a un altre avió amb major MPL.
 - Fa referència a un altre avió amb major MFW.
 - Fa referència a un altre avió amb major MZFW.
 - Fa referència a un altre avió amb menor MFW, però pel mateix MTOW i MPL.**
3. Marca l'opció/les opcions correct-a/es en referència al següent diagrama pesos-abast:



- La lletra E marca el rang màxim amb MPL.
- La lletra F marca el rang màxim.
- La lletra A marca el rang màxim amb MTOW.
- La lletra D marca el valor de MZFW.



4. La productivitat en el diagrama de càrrega de pagament-abast:
 - a. **Es defineix com el producte de l'abast i la càrrega de pagament.**
 - b. Es representa sempre com una família de rectes que interseccionen el diagrama càrrega de pagament-abast.
 - c. **És tangent al segon tram del diagrama per la corba amb màxima productivitat.**
 - d. Es defineix com el producte del pes de combustible i la càrrega de pagament.

5. Per incrementar la productivitat d'un avió, es pot:
 - a. Disminuir el MTOW.
 - b. **Disminuir el OEW.**
 - c. Incrementar el rang màxim.
 - d. Incrementar el MPL.

5.7 Sessió 7

El material docent que s'ha de generar per la sessió 7 està vinculat al Tema 7: Resistència aerodinàmica. D'una banda, s'ha elaborat l'apartat corresponent del treball de referència i, d'altra banda, s'ha preparat un qüestionari que els alumnes hauran de respondre abans de començar la classe.

5.7.1 Apartat del treball de referència

La corba polar de l'avió $C_D(C_L)$ es pot aproximar matemàticament mitjançant la següent expressió:

$$C_D = C_{D_0} + \frac{C_L^2}{\pi A e}$$

on, d'igual manera que en apartats anteriors, C_{D_0} s'estima com 0,015 per valors de $C_L \leq 2$ i 0,025 per valors de $C_L > 2$ degut a l'efecte dels flaps i altres dispositius hipersustentadors; l'allargament A equival a 10,3 i el factor d'eficiència d'Oswald e pren un valor de 0,8. Així doncs, s'obté la següent corba polar:

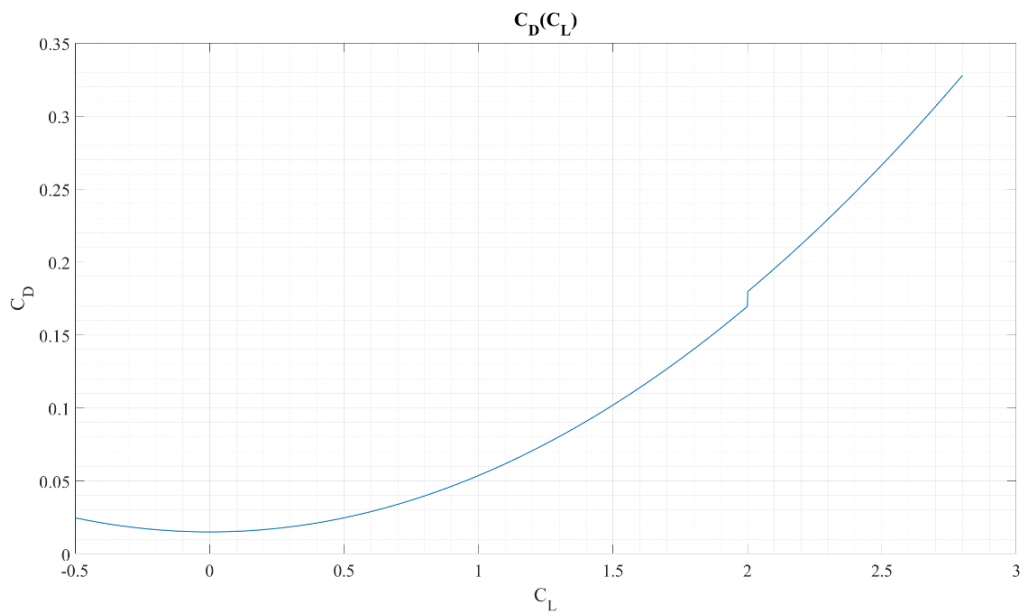


Figura 11. Polar parabòlica estimada de l'avió

Com es pot observar a la Figura 11, la corba resultant és una paràbola degut a la relació quadràtica entre C_D i C_L . També cal remarcar que hi ha un salt visible per $C_L = 2$ degut a l'increment de valor de C_{D_0} originat per l'ús de dispositius hipersustentadors.

5.7.2 Qüestionari previ a la sessió

1. A la corba polar d'un avió:
 - a. El coeficient de resistència aerodinàmica segueix una relació directament proporcional al quadrat del coeficient de sustentació.
 - b. El coeficient de resistència aerodinàmica es pot modelar matemàticament mitjançant una expressió directament proporcional al quadrat del coeficient de sustentació.**
 - c. S'indica el valor de l'eficiència aerodinàmica de l'avió en funció de l'altitud de vol.
 - d. Es representa el coeficient de resistència aerodinàmica en funció del coeficient de sustentació.**

2. Indica quin o quins dels següents fenòmens contribueixen a la resistència aerodinàmica
 - a. Creació d'ones de xoc.**
 - b. Generació de vorticitat al flux.**
 - c. Efectes viscosos de l'aire.**
 - d. La velocitat de vol.**

3. Per reduir la resistència d'ona, cal dissenyar l'avió:
 - a. Amb winglets per evitar la creació d'ones de xoc.
 - b. D'acord amb la llei d'àrees de Whitcomb.**
 - c. Amb un fuselatge de secció rectangular.
 - d. No hi ha cap manera de reduir la resistència d'ona.

4. Per reduir la resistència deguda a efectes viscosos, és necessari dissenyar l'avió:
 - a. Per tal que la capa límit sigui el més turbulenta possible.
 - b. Per tal que la capa límit sigui el més laminar possible.**
 - c. D'acord amb la llei d'àrees de Whitcomb.
 - d. Amb winglets per evitar la separació de la capa límit.

5. Per reduir la resistència de vòrtex, cal dissenyar l'avió:
 - a. D'acord amb la llei d'àrees de Whitcomb.
 - b. La resistència de vòrtex no es pot reduir ja que es inherent a la generació de sustentació.
 - c. Amb winglets per tal d'incrementar l'envergadura efectiva de l'ala.**
 - d. Amb un número parell de motors.

6 Resum del pressupost

A continuació es presenta el pressupost total d'aquest treball de fi de grau, tenint en compte les despeses associades a recursos humans, així com els costos associats a l'ús de recursos materials. D'aquesta manera, es presenta la Taula 4 a mode de resum.

Taula 4. Pressupost total del treball

| Concepte | Temps | Cost unitari | Cost total [€] |
|----------------------------|--------------|---------------------|-----------------------|
| Recursos humans | | | |
| Enginyer aeroespacial | 280 h | 18 € / h | 5040,00 |
| Recursos materials | | | |
| Ordinador portàtil | 6 mesos | 1019,15 € / 7 anys | 72,80 |
| Llicència MatLab | 1 any | 250,00 € / any | 250,00 |
| Llicència Microsoft Office | 6 mesos | 7,00 € / mes | 42,00 |
| TOTAL | | | 5404,80 |

El desglossament detallat del pressupost d'aquest treball de fi de grau s'ha inclòs en el document *Pressupost*.

7 Anàlisi i valoració de les implicacions ambientals i socials

Pel que fa a les implicacions ambientals i socials d'aquest treball de fi de grau, s'analitzaran en primer lloc els aspectes de temàtica social, els quals són més evidents degut a la temàtica d'aquest projecte.

Tal i com s'ha repetit al llarg d'aquest treball, l'objectiu principal és elaborar una proposta detallada per a l'assignatura de Disseny d'Avions que consisteixi en una metodologia d'aprenentatge basat en projectes. S'ha constatat que el PBL és un mètode d'ensenyament que millora la qualitat de l'aprenentatge dels alumnes, ja que aquests mostren una actitud més activa i s'impliquen d'una forma més directa. Així doncs, gràcies a la proposta que s'ha elaborat en aquest treball, es podria millorar la qualitat docent de l'assignatura Disseny d'Avions i, en conseqüència, el grau de satisfacció dels alumnes amb aquesta matèria.

També s'ha pogut comprovar que el fet de participar en un projecte desenvolupat a través d'una metodologia PBL millora certes capacitats i habilitats d'àmbit social. Alguns exemples evidents són el treball en equip, la gestió de projectes, la coordinació entre grups de treball, etc. Totes aquestes habilitats són essencials per a qualsevol enginyer, ja que les haurà de posar en pràctica en el seu futur laboral.

Parlant ara de les implicacions ambientals, mitjançant la realització d'aquest treball de fi de grau, es contempla que els alumnes de l'assignatura hagin de fer el disseny conceptual d'avions que tinguin requisits orientats a la millora de l'eficiència energètica i a la reducció d'emissions. Així doncs, és important que els estudiants prenguin consciència que la indústria aeronàutica va encaminada a dissenyar avions que ajudin a revertir els efectes de l'actual canvi climàtic.

En resum, a través d'aquest treball de fi de grau es pretén que millorin les habilitats socials dels alumnes mitjançant la realització d'un projecte utilitzant una metodologia PBL, a la vegada que es contemplin les implicacions ambientals que suposa el fet de fer el disseny conceptual d'un avió.

8 Conclusions

Un cop realitzat el treball, es procedeix a fer una síntesi dels resultats assolits per tal d'extreure'n conclusions en relació als objectius que s'havien plantejat inicialment.

Cal recordar que a través d'aquest treball de fi de grau es pretenia elaborar una proposta detallada per a l'assignatura de Disseny d'Avions que consistís en una metodologia d'aprenentatge basat en projectes. Després de dur a terme una recerca exhaustiva sobre les característiques del PBL, contemplant els seus principals avantatges i inconvenients, s'ha pogut demostrar que aquest tipus de metodologia docent és compatible amb l'assignatura Disseny d'Avions. Així doncs, s'ha pogut assolir el principal objectiu d'aquest treball de fi de grau, planificant les sessions lectives de la primera meitat de la matèria i elaborant el material docent necessari perquè els alumnes siguin capaços d'assimilar els continguts bàsics de l'assignatura.

A més a més, un aspecte a remarcar és el fet que durant la realització d'aquest treball s'ha pogut dur a terme el disseny conceptual d'un avió. Concretament, s'han definit els seus requeriments principals i la seva configuració general, s'han calculat els seus pesos de disseny, s'ha elaborat el diagrama d'actuacions per realitzar un dimensionat inicial, s'han dut a terme els diagrames pesos-abast i s'ha estimat el coeficient de resistència aerodinàmica en funció del coeficient de sustentació. Així doncs, la part tècnica del treball també s'ha pogut realitzar de forma satisfactòria.

No obstant, cal mencionar també que la metodologia docent que s'ha definit no és d'aprenentatge basat en projectes en la seva totalitat. Si bé reuneix algunes característiques del PBL, s'ha optat per dur a terme un canvi progressiu després d'haver-ho consensuat amb el professorat de l'assignatura. Malgrat això, tal i com s'ha comentat en el treball, l'aprenentatge basat en projectes, a diferència de les classes expositives d'aprenentatge passiu, és un mètode que canvia al llarg del temps i que s'adapta a les necessitats dels alumnes. És a dir, és un mètode que té molt marge de millora i que va evolucionant a mesura que avancen els cursos.

També és important destacar que la proposta que s'ha dut a terme correspon als continguts de la primera meitat de l'assignatura, els quals són considerats com a requisits mínims per poder realitzar el disseny conceptual d'un avió. A partir d'aquí, una de les propostes de continuació d'aquest treball de fi de grau seria realitzar el plantejament de la segona part de la matèria. És a dir, s'hauria de decidir si continuar amb el mateix format de treball de referència i qüestionaris previs o bé realitzar una proposta diferent. Caldria analitzar, per tant, si els continguts d'aquesta segona part (disseny dels blocs funcionals d'un avió i



disseny estructural d'avions) poden ser adaptats a un treball que serveixi com a model o no.

Una altra possible continuació del treball, més a llarg termini, seria la d'elaborar una proposta per a l'assignatura que consistís en una metodologia PBL en la seva totalitat. Seria necessari, doncs, analitzar l'evolució de la matèria a partir de la implementació de la proposta detallada en aquest treball de fi de grau i, a partir d'aquí, aprofitar el caràcter adaptatiu de l'aprenentatge basat en projectes per definir una metodologia completament basada en el PBL.

Finalment, a mode de resum, gràcies a aquest treball de fi de grau es podrà replantejar l'assignatura de Disseny d'Avions a través d'una metodologia que incorpori característiques del PBL, que millori la qualitat docent de la matèria i que incrementi la implicació dels alumnes en el procés d'aprenentatge.

9 Referències

- [1] PBLWorks. *What is PBL?* [Online]. [Consulta: 14/03/2022]. Disponible a: <<https://www.pblworks.org/what-is-pbl>>.
- [2] Penuel, W. R., & Means, B. (1999). Observing Classroom Processes in Project-Based Learning Using Multimedia: A Tool for Evaluators. *Reports – Research (143)*
- [3] Walker, A., & Leary, H. (2009). A problem based learning meta analysis: Differences across problem types, implementation types, disciplines, and assessment levels. *Interdisciplinary journal of problem-based learning*, 3(1), 6.
- [4] Finkelstein, N., et al. (2010). Effects of Problem Based Economics on High School Economics Instruction. Final Report. NCEE 2010-4002. *National Center for Education Evaluation and Regional Assistance*.
- [5] Kokotsaki, D., Menzies, V., & Wiggins, A. (2016). Project-based learning: A review of the literature. *Improving schools*, 19(3), 267-277.
- [6] Castaldi, P., & Mimmo, N. (2019). An experience of project based learning in aerospace engineering. *IFAC-PapersOnLine*, 52(12), 484-489.
- [7] Brodeur, D. R., Young, P. W., & Blair, K. B. (2002, June). Problem-based learning in aerospace engineering education. In *Proceedings of the 2002 American society for engineering education annual conference and exposition, Montreal, Canada* (pp. 16-19).
- [8] Al-Shamma, O., & Ali, R. (2016). Delivery of Aircraft Design Curriculum through Problem-Based Learning Approach. *International Journal of Research*, 3(4), 109-119.
- [9] Ertas, A., & John, J. (1993). *Engineering Design Process*. New York, USA: John Wiley and Sons.
- [10] Yusof, K., et al. (2004). Problem based learning in engineering education: A viable alternative for shaping graduates for the 21st century. *Kuala Lumpur: Conference on Engineering Education*.
- [11] Felder, R. M., & Brent, R. (2007). Cooperative learning. *Active learning: Models from the analytical sciences*, 970, 34-53.
- [12] Roncero, S. E. (2012). Presentación de una experiencia PBL: Diseño de un avión en la asignatura de Cálculo de Aviones. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla.

- [13] Bonwell, C. C., & Eison, J. A. (1991). Active Learning: Creating Excitement in the Classroom. ERIC Digest.
- [14] Cambridge Assessment International Education. *Getting started with Active Learning*. [Online]. [Consulta: 23/08/2022]. Disponible a: <<https://www.cambridge-community.org.uk/professional-development/gswal/index.html>>.
- [15] Smart Sparrow. *Keep Learners at the Center of the Design Process*. [Online]. [Consulta: 23/08/2022]. Disponible a: <<https://www.smartsparrow.com/what-is-active-learning/>>.
- [16] Biggs, J. (2003). Aligning teaching for constructing learning. *Higher Education Academy*, 1(4), 1-4.
- [17] Sheila Margolis. *What Is the Optimal Group Size for Decision-making?* [Online]. [Consulta: 30/08/2022]. Disponible a: <<https://sheilamargolis.com/2011/01/what-is-the-optimal-group-size-for-decision-making/>>.
- [18] Airbus. *A320neo*. [Online]. [Consulta: 02/09/2022]. Disponible a: <<https://aircraft.airbus.com/en/aircraft/a320-the-most-successful-aircraft-family-ever/a320neo>>.
- [19] Modern Airlines. *Airbus A320 Specs – What is behind one of the most popular short-haul airliners?* [Online]. [Consulta: 02/09/2022]. Disponible a: <<https://modernairliners.com/airbus-a320-introduction/airbus-a320-specs/>>.
- [20] Boeing. *Boeing 737 MAX*. [Online]. [Consulta: 02/09/2022]. Disponible a: <<https://www.boeing.com/commercial/737max/>>.
- [21] Airlines Inform. *Boeing 737 MAX 8*. [Online]. [Consulta: 02/09/2022]. Disponible a: <<https://www.airlines-inform.com/commercial-aircraft/boeing-737-max-8.html>>.
- [22] Airbus, S. A. S. (2019). *Customer Services, “Airbus A320 Aircraft Characteristics Airport and Maintenance Planning,”*. Tech. rep., Airbus SAS Customer Services.
- [23] Boeing. (2022). *737 MAX. Airplane Characteristics for Airport Planning*. Tech. rep., Boeing Commercial Airplanes.
- [24] Roskam, J. (1985). *Airplane design*. DARcorporation.

[25] Martinez-Val, R., Perez, E., & Palacin, J. (2005). Historical Perspective of Air Transport Productivity and Efficiency. In *43rd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit* (p. 121).

[26] Cumpsty, N., & Heyes, A. (2015). *Jet propulsion*. Cambridge University Press.

[27] Sadraey, M. H. (2012). *Aircraft design: A systems engineering approach*. John Wiley & Sons.

[28] Airbus. *Engine Thrust Management - Thrust Setting at Takeoff*. [Online]. [Consulta: 05/09/2022]. Disponible a: <<https://safetyfirst.airbus.com/engine-thrust-management-thrust-setting-at-takeoff/>>.

[29] EASA. (2018). *Type certificate data sheet for LEAP-1A & LEAP-1C Series Engines*. Tech. rep., Type Certificate Holder.

[30] EASA. (2019). *Type certificate data sheet No. IM.E.093 for PW1100G-JM Series Engines*. Tech. rep., Type Certificate Holder.