

MONITORATGE DEL CEL OBERT: SEGUIMENT DE VOLS AMB UN SISTEMA ADS-B

Emanuel Andrei Petrescu 2n.B Batxillerat
Banyoles, 30 de setembre del 2025
Tutora: Dolors Pujol, INS Pla de l'Estany



ABSTRACT

Català:

Aquest TDR explora la connexió essencial entre l'aerodinàmica dels avions comercials, l'evolució de la indústria aeronàutica i la tecnologia que hi ha darrere de la supervisió del trànsit aeri. La secció teòrica abasta els fonaments físics que regeixen el vol, definint les quatre forces que el fan possible (sustentació, resistència, empenta i pes.) i l'aplicació de les lleis físiques, com les lleis de Newton o el principi de Bernoulli. Aquesta part també repassa els components essencials d'un avió necessaris per a l'estabilitat i la seguretat del vol, juntament amb la intensa competitivitat entre principals fabricants comercials: Boeing i Airbus.

El nucli d'aquest TDR resideix en la secció pràctica i experimental, on la hipòtesi tenia com a objectiu demostrar que la construcció d'una antena receptora ADS-B per a la detecció de vols és senzilla i accessible per a qualsevol que utilitzi components fàcils d'adquirir. Aquesta antena va servir de base per al desenvolupament d'una interfície gràfica personalitzada, construïda amb Python i JavaScript, destinada a capturar i mostrar dades essencials en temps real, com l'altitud, el codi de vol, la velocitat i la trajectòria, entre d'altres. L'anàlisi de les dades provisionals recopilades per l'antena va permetre identificar els patrons inicials del trànsit aeri que, amb més temps de registre, podrien convertir-se en definitius. El sistema va superar amb escreix les expectatives, ja que va rebre amb èxit senyals de vols a més de 400 km de distància. Aquest TDR conclou afirmant l'èxit del projecte i destacant l'accessibilitat de la tecnologia de codi obert per a una supervisió eficaç de l'espai aeri.

Castellà:

Este TDR explora la conexión esencial entre la aerodinámica de los aviones comerciales, la evolución de la industria aeronáutica y la tecnología que hay detrás de la supervisión del tráfico aéreo. La sección teórica abarca los fundamentos físicos que rigen el vuelo, definiendo las cuatro fuerzas que lo hacen posible (elevación, peso/gravedad, resistencia y empuje) y la aplicación de las leyes físicas, como las leyes de Newton o el principio de Bernoulli. Esta parte también repasa los componentes esenciales de un avión necesarios para la estabilidad y la seguridad del vuelo, junto con la intensa competitividad entre los mayores y más conocidos fabricantes comerciales: Boeing y Airbus.

El núcleo de este TDR reside en la sección práctica y experimental, donde la hipótesis tenía como objetivo demostrar que la construcción de una antena receptora ADS-B para la detección de vuelos es posible y accesible para cualquiera que utilice componentes fáciles de adquirir. Esta antena sirvió de base para la interfaz gráfica personalizada, construida con Python y JavaScript, para capturar y mostrar datos esenciales en tiempo real (incluyendo altitud, código de vuelo, velocidad y trayectoria, entre otros). El análisis de los datos provisionales recopilados por la antena permitió identificar los patrones iniciales del tráfico aéreo que, con más tiempo de registro, podrían convertirse en definitivos. El sistema superó con creces las expectativas, ya que recibió con éxito señales de vuelos a más de 400 km de distancia. Este TDR concluye afirmando el éxito del proyecto y destacando la accesibilidad de la tecnología de código abierto para una supervisión eficaz del espacio aéreo.

Anglès:

This Research Project (TDR) explores the essential connection between the aerodynamics of commercial aircraft, the evolution of the aviation industry, and the technology behind air traffic monitoring. The theoretical section covers the fundamental physics that govern flight, defining the four forces that make it possible (lift, weight/gravity, drag, and thrust) and the application of physical laws, such as Newton's laws and Bernoulli's principle. This part also reviews the essential components of an aircraft required for flight stability and safety, alongside the intense competitiveness between the greatest and most known commercial manufacturers: Boeing and Airbus.

The core of this TDR resides in the practical and experimental section, where the hypothesis aimed to prove that constructing an ADS-B receiver antenna for flight detection is straightforward and accessible to anyone using easily acquired components. This antenna served as the basis for the custom graphic interface, built with Python and JavaScript, to capture and display essential data in real time (including altitude, flight code, speed, and track, inter alia). The analysis of provisional data collected by the antenna enabled the identification of preliminary air traffic patterns that could become definitive with extended recording time. The system significantly exceeded expectations, successfully receiving signals from flights over 400 km away. This TDR concludes by affirming the project's success and highlighting the accessibility of open-source technology for effective airspace monitoring.

ÍNDEX

ABSTRACT.....	1
ÍNDEX.....	4
INTRODUCCIÓ.....	7
OBJECTIUS.....	7
HIPÒTESI.....	8
PART TEÒRICA.....	9
1. L'AVIACIÓ.....	9
1.1. Què és l'aviació?.....	9
1.2 La Història de l'aviació fins a l'actualitat.....	9
1.2.1. Abbas Ibn Firnas.....	9
1.2.2. Leonardo da Vinci.....	10
1.2.3. The Montgolfier Brothers (Els germans Montgolfier).....	10
1.2.4. Henri Giffard.....	11
1.2.5. Otto Lilienthal.....	11
1.2.6. Els Germans Wright.....	11
1.2.7. Louis Blériot.....	11
1.2.8. La Primera Guerra Mundial.....	11
1.2.9. Charles Lindbergh.....	12
1.2.10. El primer avió experimental “a reacció” i el primer vol d'avió a reacció....	12
1.2.11. Chuck Yeager.....	13
1.2.12. Concorde.....	13
2. L'AERODINÀMICA.....	14
2.1 Les forces que actuen sobre un avió.....	14
2.2 Els Principis de l'Aerodinàmica.....	16
2.2.1. Efecte Bernoulli.....	17
2.2.2. Efecte Coandă.....	18
2.2.3. Efecte Venturi.....	19
2.2.4. Lleis de Newton.....	19
2.2.5. Principi d'Arquimedes.....	21
2.3 Fases d'un vol.....	21
2.3.1. Enlairament.....	21
2.3.2. Vol de creuer.....	22
2.3.3. Aterratge.....	22
2.4 Turbulències.....	22
3. ELS AVIONS.....	23
3.1 Les parts essencials d'una aeronau comercial.....	23
3.2 Sistemes de control en els girs.....	27
3.2 Tipus d'avions.....	28
3.3 Companyies més conegudes productores d'avions comercials.....	28
3.3.1. Boeing.....	28
3.3.2. Airbus.....	29

3.3.3 Embraer.....	29
3.4 Estudis comparatius de comandes i lliuraments entre Airbus i Boeing l'any 2024...	31
3.5 Els accidents d'avió.....	32
3.5.1. Japan Airlines 123 (1985).....	32
3.5.2. Desastre de l'aeroport de Tenerife (1977).....	33
3.5.3. Col·lisió de Charkhi Dadri (1996).....	33
3.5.4. Air France Vol 4590 - Concorde (2000).....	33
3.5.5. Pan Am Vol 103 (1988, Lockerbie).....	33
3.5.6. Air India Vol 182 (1985).....	34
3.5.7. Delta Air Lines Vol 191 (1985).....	34
3.5.8. China Airlines Vol 611 (2002).....	34
3.5.9. Turkish Airlines Vol 981 (1974).....	34
3.5.10. American Airlines Vol 191 (1979).....	34
3.5.11. Atemptats de l'11 de setembre del 2001 - World Trade Center, EUA.....	35
3.6 La competència entre manufacturers.....	35
3.7 Procediments en cas d'una emergència.....	38
4. INFRAESTRUCTURES AEROPORTUÀRIES.....	40
4.1 L'aeroport.....	40
4.2 Ajudes per l'aterratge.....	42
5. VOLS, RUTES COMERCIALS I LA DETECCIÓ D'AQUESTES.....	46
5.1 La navegació i la vigilància aèria.....	46
5.2 La detecció d'aeronaus.....	47
PART PRÀCTICA.....	50
1. Elaboració d'una aplicació a partir de dades trobades per una estació detectora d'aeronaus.....	50
1.1 La detecció i l'elaboració de l'estació detectora de vols.....	50
1.2 Elaboració de l'aplicació.....	56
1.3 Anàlisis de les dades.....	70
1.3.2. Quin és el fabricant d'avions més detectat per l'estació?.....	72
CONCLUSIONS.....	74
Propostes de millora i de continuació del treball.....	76
AGRAÏMENTS.....	78
BIBLIOGRAFIA.....	79
1.1 Bibliografia.....	79
1.2 Bibliografia fotogràfica.....	85
ANNEXOS.....	88
1. Visita a l'aeroport i torre de control de Girona Costa-Brava (GRO/LEGE).....	88
1.1 Sistema de la torre.....	89
1.1.1. Equipament i sistemes del controlador.....	89
1.2 Controlador Aeri.....	94
1.3 Espai Aeri.....	95
1.3.1. Classificació de l'espai aeri.....	95
1.3.2. Capacitat i gestió de l'espai aeri.....	96

1.4 Procediments.....	96
1.4.1. El vent i la direcció de la pista.....	96
1.4.2. Gestió d'incidents i informes.....	97
1.5 Extra i Curiositats.....	97
2. Idees de part pràctica fallides:.....	98
2.1. Maqueta d'avió funcional i teledirigit.....	98
2.2. Simulador de perfils alars i flux d'aire aerodinàmic.....	99
3. Codis de versions anteriors.....	100
3.1 Codi Versió 1.....	100
3.2 Codi Versió 2.....	102
3.3 Codi Versió 3.....	105
3.3.1 Codi creador del mapa.....	105
3.3.2 Codi actualitzador del mapa.....	108
4. Gràfics resultants de les dades analitzades pel punt 3.3.2 de la part pràctica.....	109
5. Denegació de mites i el perquè.....	111

INTRODUCCIÓ

Des de petit, m'ha fascinat veure volar els avions. Sempre m'he preguntat com l'home ha estat capaç de dissenyar una aeronau, capaç d'enlairar-se i sobrevolar el firmament. Aquest interès per la ciència i la tecnologia que ens permet entendre fenòmens com aquest, fa que actualment estigui estudiant el Batxillerat científic-tecnològic a l'INS Pla de l'Estany. Aquest treball de recerca neix del meu interès per l'aviació i de la curiositat pel funcionament de les aplicacions de seguiment d'aquests. Tot i que sovint es pensa que només les grans companyies propietàries d'aquestes aplicacions, el govern o entitats de trànsit aeri, poden monitorar el trànsit aeri, aquest projecte pretén demostrar que amb materials assequibles i eines de codi lliure, és possible desenvolupar un sistema funcional de detecció i visualització de tota mena de vols.

OBJECTIUS

Els objectius principals d'aquest projecte, són:

1. Dissenyar i implementar un sistema de detecció de vols mitjançant una antena casolana.
2. Desenvolupar una interfície gràfica que permeti visualitzar en temps real les dades dels vols detectats (codi de vol, altitud, model d'avió, velocitat, etc.).

Altres objectius que m'he proposat durant la recerca són els següents:

3. Conèixer com es poden enlairar els avions identificant les principals lleis físiques que intervenen en les fases d'enlairament dels avions, en el vol de creuer i en l'aterratge d'aquests.
4. Analitzar els principis de l'aerodinàmica aplicada a l'aviació i comprendre com aquests permeten el desplaçament i la sustentació de les aeronaus.
5. Identificar les parts essencials d'un avió, especialment aquelles imprescindibles per garantir un enlairament i un aterratge segurs.
6. Investigar els models d'avió més populars i més utilitzats, així com els més produïts històricament.
7. Conèixer els procediments d'emergència aeris que s'apliquen en cas d'incidències durant el vol.

8. Analitzar el trànsit aeri detectat per una antena casolana, identificant les hores de màxima i mínima activitat.
9. Explorar el funcionament de les aplicacions de seguiment de vols, i comprendre com es detecten les aeronaus mitjançant sistemes com l'ADS-B i altres tecnologies relacionades.

HIPÒTESI

La hipòtesi del meu projecte és la següent:

Una antena casolana és capaç de detectar i representar en temps real un gran nombre de vols comercials en un radi inferior a 200 km. A més, les dades recollides, com el codi de vol, la velocitat, l'altitud o categoria de l'avió, es poden visualitzar de manera clara, a través d'una interfície gràfica personalitzada, i permeten analitzar patrons de trànsit aeri al llarg del dia.

METODOLOGIA

Aquest treball de recerca s'estructura en dues parts: una de teòrica i una de pràctica. A la part teòrica, s'ha realitzat una revisió bibliogràfica i documental de fonts especialitzades en l'aviació amb l'objectiu de sintetitzar-les i analitzar les informacions proporcionades per construir un marc teòric sòlid. Aquest també s'ha complementat gràcies a la visita a la Torre de Control de l'aeroport de Girona.

La metodologia de la part pràctica és una metodologia experimental. S'ha muntat una antena capaç de captar els senyals emesos pels avions i s'han desenvolupat diversos prototips de programari amb l'objectiu de recollir dades per tal de validar o desmentir la hipòtesi. Per dur-ho a terme, s'ha utilitzat el llenguatge de programació Python per poder processar i analitzar les dades captades per l'antena. Per interpretar i mostrar una visualització per pantalla d'aquestes, s'ha utilitzat el llenguatge Javascript. Aquests coneixements han estat adquirits gràcies a l'activitat extraescolar en el centre Codelearn i a l'optativa de programació de 1r de Batxillerat.

PART TEÒRICA

1. L'AVIACIÓ

1.1. Què és l'aviació?

L'aviació és l'activitat relacionada amb el vol d'aeronaus a través de l'atmosfera, sigui amb finalitats comercials, militars o recreatives. Segons la International Civil Aviation Organization (ICAO), es defineix com “la navegació d'aeronaus a través de l'atmosfera amb finalitats civils o comercials”.

Aquesta disciplina engloba tant els principis físics que permeten el vol, com la tecnologia associada al disseny, construcció i operació de les aeronaus. Al llarg del temps, l'aviació ha evolucionat de manera extraordinària, esdevenint un pilar fonamental del transport global i una font d'innovació científica i tecnològica.

L'aviació no es refereix necessàriament només als avions sinó que també inclou els helicòpters, els globus aerostàtic, etc. La branca comercial de l'aviació s'especialitza en el transport de passatgers o d'éssers vius. Però, on es va originar l'aviació i com hem arribat fins al present?

1.2 La Història de l'aviació fins a l'actualitat

1.2.1. Abbas Ibn Firnas

En el segle IX, l'Abbas Ibn Firnas era un erudit andalusí que va intentar volar per primera vegada. Ell va marcar el principi de l'aviació, essent la primera persona que va volar. Per fer-ho possible, es va tirar des d'una torre, equipat amb unes teles que semblaven ales per atenuar la seva caiguda. Es considera també un dels inventors del paracaigudes perquè es va tirar i només va patir ferides lleus.



Figura 1: Escultura que representa a l'Abbas Ibn Firnas.

1.2.2. Leonardo da Vinci

Entre 1485 i 1500, Leonardo da Vinci va fer uns esborranys de màquines voladores com l'Ornitòpter o el cargol aeri. El cargol aeri és considerat el precedent dels helicòpters actuals.

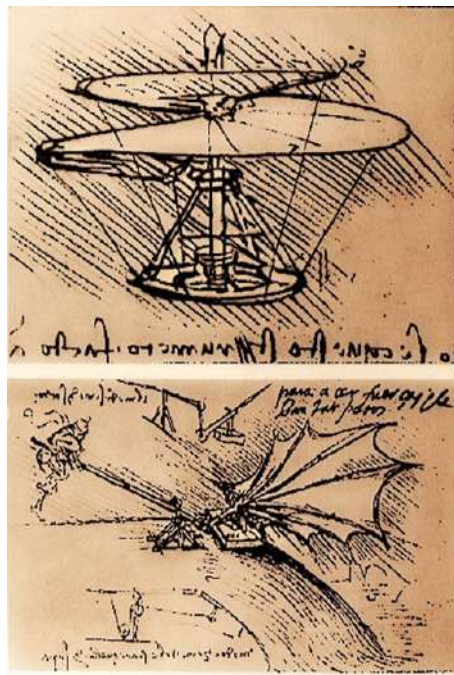


Figura 2: Il·lustracions de l'Ornitòpter i del cargol aeri.

1.2.3. The Montgolfier Brothers (Els germans Montgolfier)

El 1783, els germans Montgolfier, van ser els primers a realitzar el primer vol tripulat en un globus aerostàtic a França. Aquest va ser un esdeveniment molt important per l'aviació.

1.2.4. Henri Giffard

El 1852, Henri Giffard va realitzar el primer vol motoritzat utilitzant una màquina de vapor. Va volar un total de 27 km.

1.2.5. Otto Lilienthal

El 1891, Otto Lilienthal va realitzar un ampli ventall de tests on va intentar crear un Ornitòpter funcional. Després de tots els tests, no ho va aconseguir, però amb aquests va aconseguir ser la primera persona a realitzar vols controlats.

1.2.6. Els Germans Wright

El 17 de desembre del 1903, els germans Wright van aconseguir fer el primer vol controlat per un humà amb un avió motoritzat. El nom de l'avió va ser "The Flyier I" i aquest és reconegut com el primer vol que una màquina més pesada que l'aire, va romandre en l'aire. Aquest va volar 37 metres en 12 segons assolint una velocitat estimada de 48 km/h.

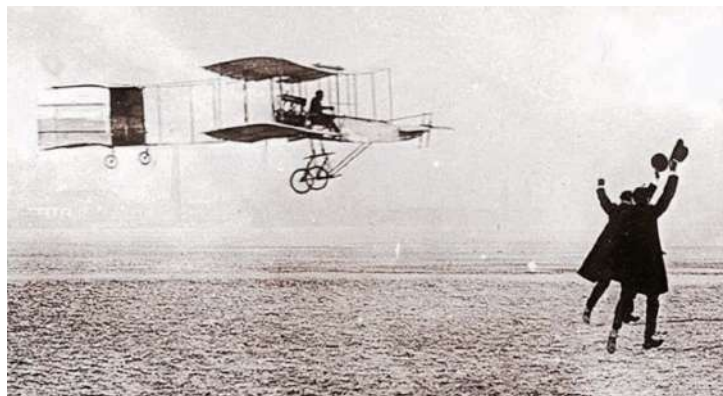


Figura 3: Fotografia del vol de "The Flyier I".

1.2.7. Louis Blériot

El 1909, Louis Blériot travessa el Canal de la Manxa en un avió monoplà per primer cop.

1.2.8. La Primera Guerra Mundial

Durant la Primera Guerra Mundial, els avions van ser utilitzats per primera vegada. Els avions tenien un ampli ventall d'usos que podrien contribuir a la guerra, i per això, la creació i desenvolupament d'aquests, va créixer, amb l'objectiu de crear un avió més ràpid.

1.2.9. Charles Lindbergh

El 1927, Charles Lindbergh va travessar l'oceà Atlàntic sense parar, fent servir el seu avió anomenat "Spirit of St. Louis". La seva velocitat de creuer va ser de 161-177 km/h i el seu pes, era gairebé d'una tona sense gasolina i 2380 kg carregat de combustible. Amb aquest avió, Charles Lindbergh va aconseguir viatjar de Roosevelt Field (Nova York, EUA) a Le Bourget (París, França) en 33 hores i 30 minuts aproximadament.



Figura 4: Fotografia conjunta d'en Charles Lindbergh i el seu avió "Spirit of St. Louis".

1.2.10. El primer avió experimental "a reacció" i el primer vol d'avió a reacció

El primer avió "a reacció" experimental va ser el Coandă-1910. Aquest va ser dissenyat per l'enginyer, físic i inventor romanès Henri Coandă. Aquest avió va ser només experimental i no era del tot un avió a reacció perquè utilitzava un motor de propulsió a reacció, però no era un autèntic turboreactor. Després de moltes proves, aquest avió al final no va volar.

Al cap de trenta anys, va aparèixer el Heinkel He 178. Aquest sí que era un autèntic avió de reacció propulsat per un turboreactor. Aquest va ser creat per Ernst Heinkel i el seu primer vol va ser el 27 d'agost de 1939.



Figura 5: Fotografia del Coandă-1910 en el Saló Internacional de l'aeronàutica i l'espai de París-Le Bourget.

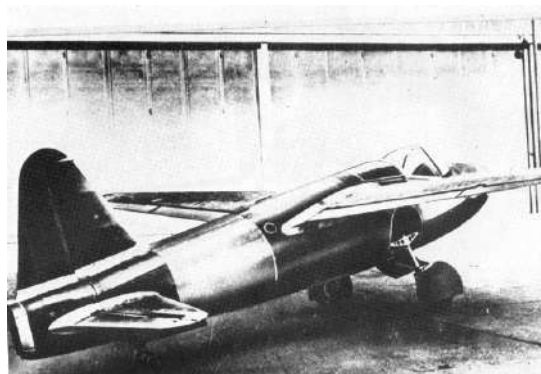


Figura 6: Fotografia del Heinkel He 178.

1.2.11. Chuck Yeager

El 1947, Chuck Yeager amb el seu avió anomenat Bell X-1, va trencar la barrera del so, arribant a la velocitat d'1,06 Machs.

1.2.12. Concorde

Finalment, el Concorde va ser un dels avions comercials supersònics més ràpids que han volat fins al moment. El seu primer vol va ser el 1969 i va arribar a la velocitat màxima de 2179 km/h. Aquest avió va ser retirat el 2003 per l'alt cost de manteniment i el soroll que emetia perquè superava la barrera del so. També una de les causes més importants del seu retir, va ser l'accident ocorregut l'any 2000 a l'aeroport de París-Charles de Gaulle. El vol que anava abans que el vol 4590 d'Air France, va perdre una peça de titani en enlairar-se. Quan el Concorde del vol 4590 va començar a accelerar per enlairar-se, una roda del tren d'aterratge va impactar amb la peça, fent que la roda explotés. Un fragment de la roda va sortir disparat i va impactar contra el reservori de combustible. Aquest va començar a vessar combustible i es va encendre. Un cop va passar això, els motors van començar a

perdre potència. Tot i així, l'avió va poder enlairar-se, però el foc va fondre l'ala i va causar el xoc contra un hotel francès. Aquest incident va causar 113 morts.



Figura 7: Fotografia del vol 4590 d'Air France.

2. L'AERODINÀMICA

Segons la definició del Termcat, l'aerodinàmica és *“una part de la dinàmica de fluids que estudia el moviment dels gasos, en particular de l'aire, com també el dels cossos immersos en els gasos i les forces i fenòmens que hi apareixen a causa del moviment relatiu”*.

Depenent de la velocitat relativa a l'aire del cos que estem investigant, l'aerodinàmica es divideix en dues branques: la supersònica i la subsònica. En el cas de tots els avions comercials que estan operatius actualment, s'aplica la subsònica. Però en el cas del Concorde, s'aplica la supersònica per la velocitat que assolía. Aquest treball de recerca es focalitza en l'anàlisi de l'aerodinàmica en règims de vol subsònics, ja que són els més habituals en l'aviació comercial i general.

2.1 Les forces que actuen sobre un avió

Sobre un avió actuen quatre forces principals: sustentació (*lift*), resistència (*drag*), empenta (*thrust*), i el pes (*weight*). La sustentació i l'empenta són forces que afavoreixen el vol, ja que contribueixen a mantenir l'aeronau en l'aire i a desplaçar-la cap endavant. En canvi, la resistència i el pes actuen en sentit contrari, dificultant el moviment i la sustentació de l'avió.

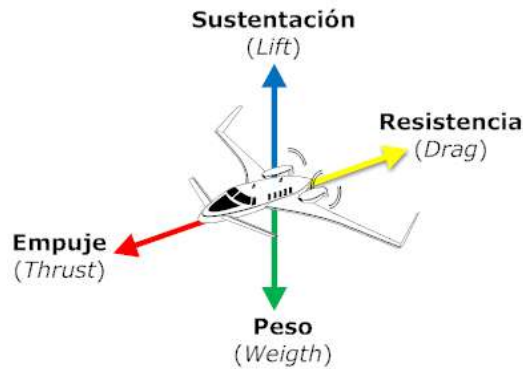


Figura 8: Representació gràfica d'un avió amb les 4 forces que s'apliquen: sustentació, resistència, empenta i pes.

Els avions volen principalment gràcies a les ales, que són elements fonamentals per la sustentació necessària per l'enlairament i el manteniment del vol. Sense ales, un avió no podria volar ni mantenir-se a l'aire.

Les ales estan dissenyades amb una forma especial que permet la sustentació. Si en talléssim una i observéssim la seva secció, veuríem que té una forma molt similar a una llàgrima, coneguda com a perfil aerodinàmic. Els perfils aerodinàmics, com abans s'ha mencionat, estan dissenyades per produir sustentació i minimitzar la resistència a l'aire. Però no només les ales tenen aquesta forma, sinó que també està present a les superfícies de la cua i a les aspes del motor.

Un perfil aerodinàmic està format per dues parts principals: una vora davantera (*leading edge*) i una vora posterior (*trailing edge*). Si representem dues línies imaginàries dins del perfil, trobaríem la línia de referència (*chord line*), que uneix directament la vora davantera amb la posterior, i la línia de curvatura (*camber line*), que segueix la forma mitjana del perfil. Aquestes línies es poden fer servir per calcular molts paràmetres, per exemple, l'angle d'atac (*Angle of Attack*, AOA), que és l'angle que forma la línia de referència respecte al flux d'aire incident.

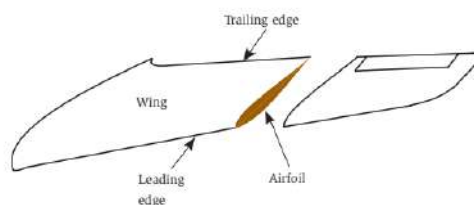


Figura 9: Representació gràfica d'una ala llescada pel mig on es pot veure el perfil aerodinàmic i les seves parts.

Depenent de l'angle d'atac, podem generar més o menys sustentació. Aquest angle, es pot modificar segons la velocitat de l'avió i l'acció sobre el timó d'altitud (explicat en el punt 3.2). Quan l'angle d'atac (AOA) és més gran que el límit (entre 15 i 20 graus), l'avió experimenta una pèrdua de la força sustentadora, perd altitud de manera sobtada, causant un *stall*. Un *stall* és una pèrdua sobtada i no controlada de la sustentació generada, i quan la sustentació és més petita que el pes, l'avió perd altura.

Cal tenir present que, per mantenir el vol en línia recta i anivellada, la força sustentadora ha de ser igual al pes de l'aeronau. Si la sustentació és menor, l'avió perd altura, si és superior, guanya altura. El pilot pot controlar aquestes variacions en qualsevol moment, empenyent cap endavant o cap enrere el comandament de vol (que pot ser una palanca o maneta).

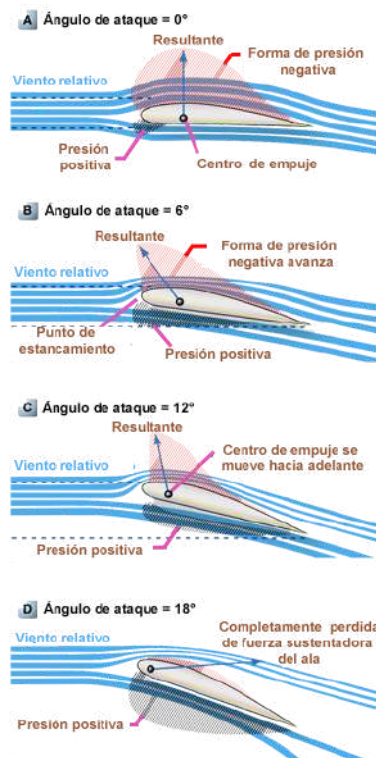


Figura 10: Representació gràfica d'una ala amb diferents angles d'atac i el comportament del vent en topar amb l'ala.

2.2 Els Principis de l'Aerodinàmica

Els principis de l'aerodinàmica apareixen i es poden començar a aplicar quan un cos sòlid com un avió, per exemple, entra en contacte amb un fluid com l'aire. Les forces aerodinàmiques són el resultat de la interacció entre el cos i el flux d'aire que

l'envolta, i no deriven directament de forces externes com la gravetat o l'electromagnetisme, sinó de l'efecte del moviment relatiu entre el cos i el fluid.

Però, com volen aquests avions i quins són els principis que permeten el vol?

Hi ha molts principis aerodinàmics els quals intervenen o contribueixen al vol d'una aeronau.

2.2.1. Efecte Bernoulli

Daniel Bernoulli va ser un científic suís que l'any 1738 va publicar l'obra "*Hydrodynamica*", on va formular el conegut **principi de Bernoulli**. Aquest principi descriu el comportament d'un fluid en moviment i estableix que, quan la velocitat d'un fluid augmenta, la seva pressió disminueix, i viceversa. Aquest fenomen és clau en molts àmbits, com l'aeronàutica, l'enginyeria i la medicina, i és una base fonamental de la física de fluids.

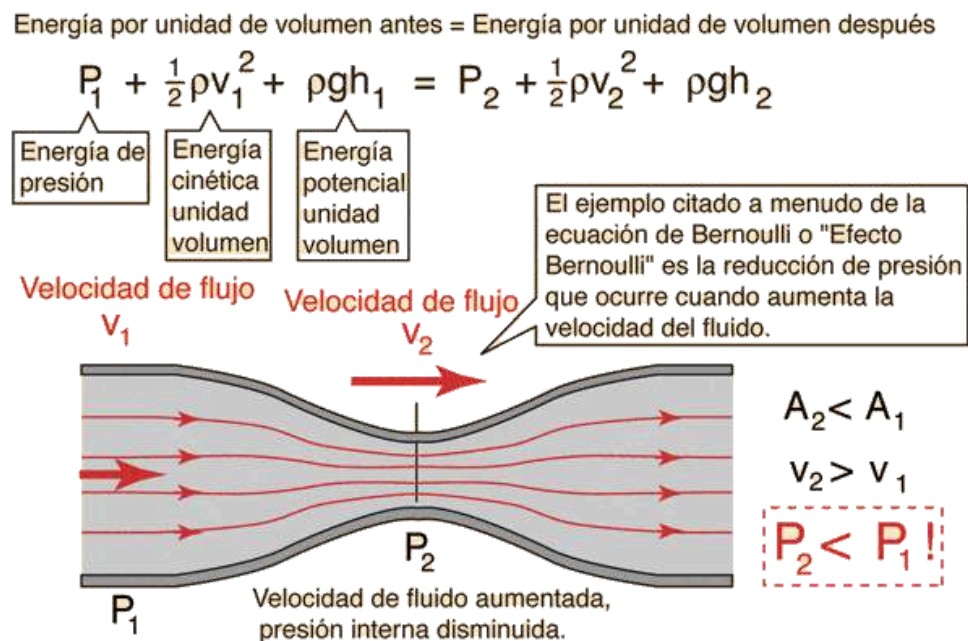


Figura 11: Exemple i fórmules del Principi de Bernoulli.

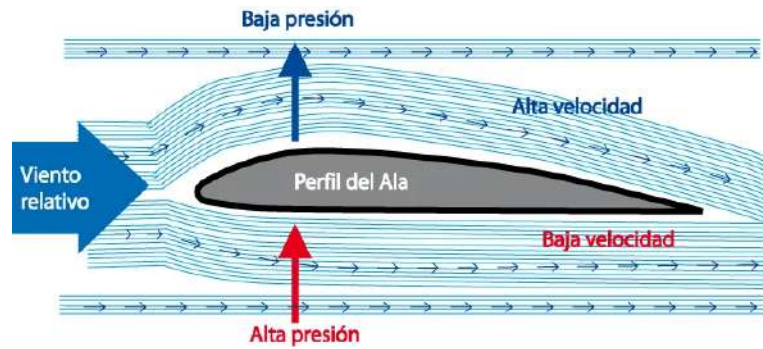


Figura 12: Efecte Bernoulli aplicat a un perfil alar.

El disseny de les ales, fa que siguin més corbades per la part superior i més planes per la part inferior, acabant de manera més afinada a la part posterior. Això fa que l'aire que circula per sobre de l'ala, viatgi a més velocitat que el que passa per sota. Segons el Principi de Bernoulli, quan la velocitat augmenta, la pressió disminueix. Com que l'aire que circula per sobre l'ala es desplaça més ràpidament que l'aire que passa per sota, es crea una diferència de pressió que genera una força neta cap amunt, anomenada sustentació. Aquesta força cap amunt, també s'explica aplicant la tercera llei de Newton (també anomenat principi d'acció i reacció, que s'explicarà al punt 2.2.4): l'aire és desviat cap avall per la superfície de l'ala, i com a resposta, es genera una força cap amunt sobre l'avió (sustentació).

Els flaps, superfícies mòbils situades en la part final de l'ala, juguen un paper important en l'efecte Bernoulli perquè quan aquestes pugen o baixen, canvien el perfil aerodinàmic i causen més o menys sustentació.

2.2.2. Efecte Coandă

Alguna vegada ens ha passat de voler passar aigua d'un got a un altre i quan inclinem el vas, observem que l'aigua s'enganxa al mateix i no cau? Aquest és l'efecte Coandă, que ens descriu el comportament del líquid i l'habilitat de canviar la trajectòria que té en ser atreta per una superfície propera. Aquest efecte va ser descobert per Henri Coandă, el romanès mencionat anteriorment que va ser el creador del Coandă-1910 i que el va implementar en el mateix. Aquest fet és causat principalment, per la diferència de pressions. En un avió, l'efecte Coandă s'aplica en moltes parts d'aquest, com és el cas de les ales.

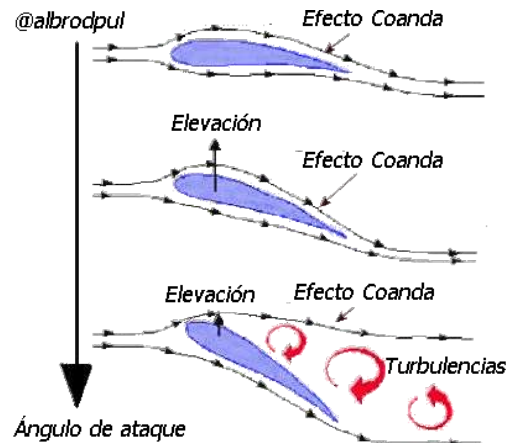


Figura 13: L'efecte Coandă aplicat a una ala amb diferents angles d'atac

En aquesta imatge podem veure l'efecte a diferents AOA (angles d'atac). En el cas que l'angle d'atac sigui gran, com per exemple 15° o 20° , com que la diferència entre pressions és molt alta i el gradient de velocitat (referint-se a com canvia la velocitat del fluid en una direcció determinada) també és molt gran, es creen les turbulències esmentades a la imatge. Aquestes turbulències són les que causen que la resistència augmenti i que no generi tanta sustentació causant un *stall*. A l'hora d'enlairar-se i aterrar, s'ha de tenir molt control sobre l'angle d'atac perquè si hi ha uns quants graus d'error, es poden generar aquestes turbulències.

2.2.3. Efecte Venturi

L'efecte Venturi és un fenomen físic similar al principi de Bernoulli, que descriu el comportament d'un fluid quan circula per un tub que es va estrenyent. Com més estret és el tub, més augmenta la velocitat del fluid i més disminueix la pressió.

Aquest efecte té aplicacions molt diverses. Una de les aplicacions més útils de l'efecte Venturi en els avions, es troba en els carburadors, on es fa disminuir la pressió de l'aire per facilitar una millor mescla amb el combustible, cosa que permet millorar l'eficiència de la combustió.

A més, en alguns motors, aquest efecte s'aprofita per augmentar la velocitat dels gasos de combustió i, com a resultat, millorar la propulsió i l'eficiència global del motor.

2.2.4. Lleis de Newton

Isaac Newton, un dels científics més influents de la història, va ser qui va establir les lleis fonamentals del moviment, essencials per entendre com es comporten els

objectes sota la influència de les forces. Aquestes tres lleis són crucials per entendre l'aerodinàmica, ja que permeten explicar el comportament d'un avió en vol.

- **1a Llei de Newton o Principi d'inèrcia:**

- Un cos es manté en repòs o en moviment rectilini uniforme si no actua cap força neta sobre ell. D'aquest principi, se'n deriva que un cos no pot canviar el seu estat de moviment, si no hi ha una força resultant que actuï sobre ell.

Aquesta llei explica, per exemple, que si les forces que actuen sobre un avió que està volant en línia recta, es contraresten o s'anul·len, l'avió continuarà volant, però ho farà a velocitat constant.

- **2a Llei o Llei fonamental de la dinàmica**

- L'acceleració d'un objecte, és directament proporcional a la força resultant que actua sobre el mateix i inversament proporcional a la massa del mateix. La fórmula que descriu aquesta llei, és la següent:

$$\text{Força} = \text{Massa} \cdot \text{Acceleració}$$

Aquesta relació es pot expressar amb la fórmula: $F = m \cdot a$, on F és la força, m és la massa de l'objecte i a és l'acceleració.

Cal destacar, que aquesta és una forma simplificada de la segona Llei de Newton. En realitat, la força resultant és la derivada de la quantitat de moviment respecte al temps, però quan la massa es manté constant, es pot utilitzar la forma més coneguda: $F = m \cdot a$.

En el cas dels avions, podem afirmar que per canviar-ne la velocitat, ja sigui el seu valor o sigui la seva direcció i sentit, hi haurà d'haver una força neta que actuï sobre l'avió.

- **3a Llei de Newton o Principi d'acció i reacció**

- Per cada força que un cos exerceix sobre un altre (acció), hi ha una força de reacció de la mateixa intensitat i direcció, però en sentit oposat (reacció), exercida pel segon cos sobre el primer.

Això significa que les forces sempre actuen per parelles i entre cossos diferents. Per exemple, quan l'aire és empès cap avall per l'ala d'un avió, aquesta reacciona exercint una força cap amunt sobre l'ala: és la sustentació, que hem esmentat abans.

2.2.5. Principi d'Arquimedes

Aquest principi estableix que quan un cos és submergit en un fluid, com l'aigua o l'aire, rep una força vertical cap amunt, anomenada empenyiment, que és igual al pes del fluid desallotjat. Aquesta força és la responsable que un objecte pugui flotar si el seu pes és inferior a la força d'empenyiment, o enfonsar-se si el pes és superior a l'empenyiment.

Aquest principi també té algunes aplicacions en l'aerodinàmica, principalment en la generació de la sustentació. Si posem com a exemple, el vol d'un avió a altituds més altes, sabem que la densitat de l'aire és inferior. Això provoca que el volum de l'aire desplaçat per les ales sigui menys dens i, per tant, que el pes d'aquest aire desplaçat i en conseqüència la força de sustentació generada, també sigui menor. Per compensar aquest fet, l'avió ha d'augmentar la seva velocitat per generar prou sustentació per mantenir-se en l'aire.

2.3 Fases d'un vol

Normalment, hi ha unes 7 fases d'un vol, que van des del transport en terra per arribar a pista, fins a l'aproximació i aterratge. En aquest TDR només ens fixarem en les 3 més importants.

2.3.1. Enlairament

L'enlairament d'un avió és possible gràcies a la combinació de la velocitat i del disseny aerodinàmic de les ales. Quan l'avió accelera per la pista i arriba a una certa velocitat (en un Airbus A320 normalment és d'entre 130 i 150 nusos que serien entre 240 i 277 en km/h aproximadament) les ales generen una sustentació superior al pes de l'avió i aquest es comença a enlairar. Per facilitar l'enlairament, s'utilitzen els *flaps* i els *slats*, que són uns mecanismes que modifiquin el perfil aerodinàmic de l'ala, augmentant la superfície i la curvatura, cosa que permet més sustentació sense necessitat d'incrementar tant la velocitat.

Un cop a l'aire, l'avió continua guanyant altitud fins a arribar al nivell de vol de creuer, que en vols comercials sol estar entre 10000 i 12000 metres.

2.3.2. Vol de creuer.

Una vegada arribada a aquesta altura, aquest és el moment més segur del vol. En aquesta situació els passatgers poden moure's amb llibertat per la cabina, sempre que les condicions ho permetin i el senyal del cinturó de seguretat estigui apagat.

La cabina de passatgers està situada a la zona del fuselatge, mentre que la cabina de comandament, on es troben els pilots, està separada i restringida al públic per motius de seguretat. L'accés a aquesta zona està limitat i regulat per protocols estrictes, especialment després dels atemptats de l'11 de setembre de 2001.

Durant aquesta fase de vol, la sustentació és igual al pes de l'aeronau. En aquest moment si el pilot necessita modificar la direcció de l'avió, pot virar la nau utilitzant el timó de direcció i els alerons.

2.3.3. Aterratge

L'aterratge és una de les fases més delicades del vol, perquè requereix una gran precisió per part dels pilots i del sistema de navegació.

Una vegada a prop del destí, l'avió comença a descendir gràcies al fet que perd velocitat. Per facilitar aquesta maniobra, es tornen a desplegar els flaps i, en alguns casos, també els slats, per augmentar la sustentació i permetre un vol segur a baixa velocitat. L'angle d'atac s'ajusta per poder realitzar un aterratge suau i controlat. Seguint unes pautes específiques de cada aeroport i amb una aproximació instrumental o visual, l'avió s'apropa. Una vegada donada l'autorització, el pilot realitza l'aterratge. Un cop l'avió toca la pista, la resistència s'augmenta per poder frenar. Per fer-ho possible, s'activen els frens de les rodes, *spoilers* (uns panells situats sobre les ales que es despleguen per trencar el flux d'aire i reduir la sustentació) i inversors de potència, si n'hi ha.

2.4 Turbulències

Les turbulències es poden produir per diferents tipus de corrents d'aire o diferents situacions.

- Corrents d'aire o vent que es manifesten d'una manera irregular.
 - Això passa quan masses d'aire es mouen en diferents direccions o velocitats.
- Aire Calent

- Quan s'escalfa l'aire tendeix a pujar per la densitat i perquè les molècules d'aire calent es mouen més ràpidament i se separen. Això causa que hi hagi corrents que generen moviment irregular.
- Tempestes
 - Dintre o a prop de les tempestes, s'hi poden trobar corrents irregulars que ascendeixen i descendeixen.
- Muntanyes
 - El vent que passa per entremig i per sobre de les muntanyes, pot causar turbulència al seu voltant.
- Presència d'un altre avió
 - A vegades, quan un avió va darrere d'un altre avió, el corrent mogut per una aeronau pot afectar l'altra.
- Cisallament del vent (Windshear)
 - Un canvi de manera brusca, en la velocitat o direcció de l'aire.

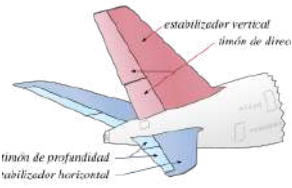
No totes les turbulències són perilloses. Els avions estan fets i preparats per poder aguantar les turbulències. Així que no hi ha d'haver cap preocupació a l'hora de volar i tenir temor a la presència de turbulències.

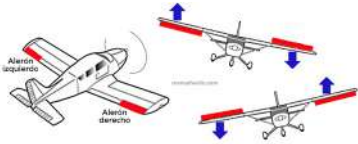
3. ELS AVIONS

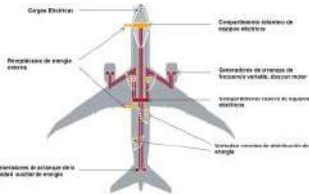
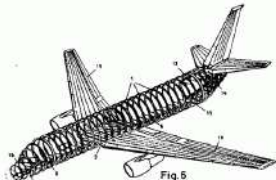
3.1 Les parts essencials d'una aeronau comercial

Els avions tenen unes parts que són essencials per un vol.

Figura	Part	Descripció
 Figura 14: Pla del fuselatge d'una aeronau comercial.	Fuselatge	Part principal i central de l'avió. Estructura que cobreix la cabina de comandament, cabina de passatgers, la càrrega i tots els sistemes de l'avió. Pot ser diferent en cada tipus d'avió.

 Figura 15: Una fotografia d'una ala procedent d'un Airbus A320.	Ales	Estan ubicades a cada costat del fuselatge i són la part essencial que l'avió necessita per enlairar-se. Les ales estan dissenyades de diferent manera per cada avió per poder fer la seva funció eficientment.
 Figura 16: Fotografia d'un motor d'una aeronau comercial.	Motors	Proporcionen la potència per moure l'avió en l'aire. Els motors de reacció són els més comuns. En general, els motors funcionen agafant aire de l'exterior, comprimint l'aire i barrejant-lo amb el combustible. Després es crema la barreja i es fa servir la inèrcia per poder fer girar les aspes del motor i propulsar l'avió.
 Figura 17: Fotografia del tren d'aterratge d'una aeronau comercial.	Tren d'aterratge	Consta de les rodes i altres mecanismes com pistons per poder fer per l'aterratge, el moviment per terra i l'enlairament. En la majoria d'avions es poden guardar dintre del fuselatge quan no està en ús.
 Figura 18: Dibuix de l'estabilitzador i timó de direcció d'A380	Estabilitzadors i Timó de direcció	Els estabilitzadors ajuden a estabilitzar l'avió mentre està a l'aire. L'horitzontal controla la inclinació i el vertical controla el gir. El timó es fa servir per controlar la direcció de l'avió.

 Figura 19: Dibuix dels alerons i del seu comportament en una aeronau.	Alerons	Superfícies de control situades als extrems de les ales que permeten controlar l'avió en la inclinació lateral. En moure els alerons cap amunt o cap avall, l'avió s'inclina a l'esquerra o a la dreta.
 Figura 20: Fotografia dels flaps d'una aeronau comercial.	Flaps	Superfícies mòbils situades a les ales que es despleguen per augmentar la sustentació. Ajuden a controlar la velocitat i estabilitat.
 Figura 20: Fotografia dels slats d'una aeronau comercial.	Slats	Els slats són extensions de les ales a la vora de davant. Milloren la sustentació i ajuden a l'hora de fer maniobres a baixes velocitats.
 Figura 21: Fotografia dels sistemes de vol d'un A380.	Sistemes de control de vol	Permeten controlar l'altitud de l'avió. Solen ser controlats per ordinadors.
 Figura 22: Fotografia d'una cabina de comandament d'una aeronau comercial	Cabina de comandament	És la zona on se situen els pilots i els instruments de vol. Dintre de la cabina es controla l'avió.

Boeing.		
 Figura 23: Fotografia del panel de comunicacions en la família A320.	Sistemes de navegació i comunicació	Els avions tenen instruments de vol que inclouen GPS, sistemes de comunicació aèria, etc.
 Figura 24: Fotografia d'una màscara d'oxigen d'un avió comercial	Sistemes de suport vital	En avions comercials, aquests són obligatoris per si hi ha algun incident com despressurització, aterratge d'emergència, etc.
 Figura 25: Diagrama Sistema elèctric d'un Boeing 787 Dreamliner	Sistemes elèctrics i de combustible	Proporcionen energia per a llums, sistemes d'entreteniment i altres equips. Els sistemes emmagatzemen i subministren el combustible necessari per al funcionament dels motors i per altres equips necessaris.
 Figura 26: Diagrama de l'estructura d'un avió comercial.	Estructura i revestiment	Està dissenyada per suportar càrregues aerodinàmiques i mecàniques. El revestiment exterior protegeix l'estructura i contribueix a l'aerodinàmica de l'avió. Dintre d'aquesta categoria entren les ales, el fusellatge, etc.

3.2 Sistemes de control en els girs.

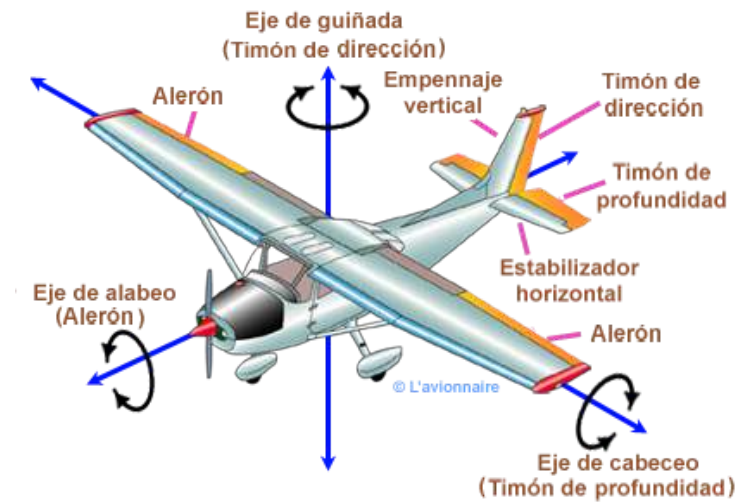


Figura 27: Il·lustració figurant els 3 eixos de gir d'una aeronau.

Els avions giren en 3 eixos:

- Eix de guinyada (*Eje de guiñada*): Aquesta és controlada pels timons de direcció. (Part vermella)
- Eix de capcineig (*Eje de cabeceo*): Aquesta és controlada pels timons de profunditat. (Part blava)

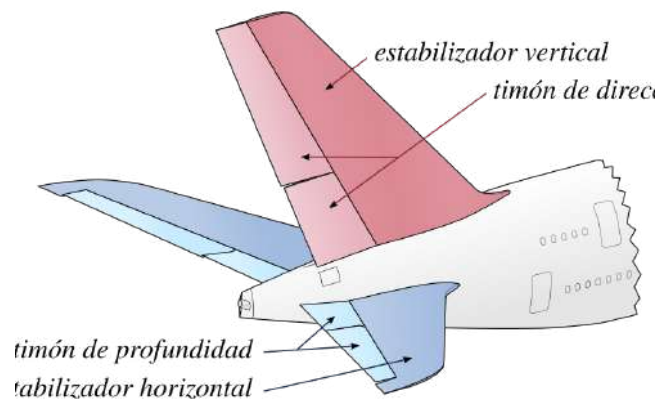


Figura 28: Dibuix de l'estabilitzador i timó de direcció de l'A380

- Eix de guixament (*Eje de alabeo*): Aquesta és controlada pels alerons.

Els alerons per girar cap a l'esquerra o dreta funcionen al contrari. En conclusió, si un aleró puja l'altre baixa.



Figura 29: Il·lustració del gir controlat pels alerons.

3.2 Tipus d'avions

Generalment, els avions es classifiquen segons el tipus de motor, segons les ales o segons la seva funció. Però dins dels avions comercials, podem distingir-ne tres de diferents:

- Avions Regionals

Aquests avions són els utilitzats per fer recorreguts de curta distància nacionals.

- Avions de fuselatge estret

Aquests avions es caracteritzen per fer recorreguts de mitjana distància entre nacions i per transportar fins a 200 passatgers. Un dels més coneguts és el Boeing 737 i l'Airbus A320.

- Avions de fuselatge ampli

Aquests avions es caracteritzen per fer recorreguts de llarga distància internacionals i transatlàntics. Normalment, tenen 2 passadissos i tenen capacitat per 400 passatgers. Un dels més coneguts és l' A380.

3.3 Companyies més conegudes productores d'avions comercials.

3.3.1. Boeing

La companyia va ser fundada l'any 1916 per en William E. Boeing i s'ha convertit en una de les empreses aeronàutiques més importants del món. Boeing fabrica diferents tipus d'aeronaus per a tots els àmbits comercial, militar i aeroespacial .

La família d'avions 737 és la més emblemàtica de la companyia i la més venuda de la història de la companyia. Aquesta sèrie va ser creada amb l'objectiu de competir amb l'A320 d'Airbus, la principal competència. El primer vol del 737 va tenir lloc el 1967 i des d'aleshores, s'ha convertit en un dels models més utilitzats per a rutes de curta i mitjana distància.

Però el model 737 Max 8, va portar molts incidents, afectant greument la seva reputació, credibilitat i imatge. Entre les aerolínies que més fan servir aquest model, hi trobem Southwest Airlines, que compta amb 815 unitats Boeing 737, i Ryanair, que compta amb 330 unitats, amb dades de setembre de 2025.

3.3.2. Airbus

La companyia europea va ser fundada l'any 1970 amb la col·laboració de diversos països europeus amb l'objectiu de competir amb Nord-amèrica en el sector d'aeronaus comercials. Un dels seus primers líders destacats va ser Felix Kracht, figura clau en el desenvolupament de la companyia. La família d'avions A320, que inclou models com l' A320ceo (Current Engine Option) són els més emblemàtics i els més importants de la companyia. Aquests tenen equipat un sistema de comandament electrònic de vol (fly-by-wire), que substitueix els sistemes mecànics tradicionals, i marca un abans i un després en l'aeronàutica. La versió millorada de la família A320, l'A320neo (New Engine Option), ofereix una eficàcia de combustible millorada, amb motors més eficients i menys sorollosos que la família A320ceo. El primer vol de la companyia i de la família A320ceo va ser el 1987. Aquestes dues famílies d'aeronaus són utilitzades per rutes de curta i mitjana distància.

Actualment, Airbus és un dels dos principals fabricants d'avions del món, juntament amb Boeing. A més de les aeronaus comercials, Airbus també dissenya i produeix aeronaus militars i sistemes aeroespacials.

3.3.3 Embraer

La companyia va ser fundada l'any 1969 per en Ozires Silva amb el suport del govern de Brasil. Des de l'inici, la companyia es va especialitzar en la fabricació d'aeronaus comercials de mida mitjana, aeronaus militars i jets privats. La família Embraer E-Jets, que inclou models com l'E170, E175, E190 i E195, són els més

venuts i més utilitzats d'aquesta companyia creats per vols de curta i mitjana distància. El seu primer vol va ser el 1968, però el primer vol d'un E-Jet es va realitzar el 2002. Posteriorment, es va crear la segona generació de E-Jets coneguda com a E-Jets 2. Actualment, Embraer és el tercer fabricant mundial d'avions comercials.

Comparativa entre Boeing, Airbus i Embraer

Característica	Boeing	Airbus	Embraer
Any de fundació	1916	1970	1969
Fundador/s	William E. Boeing	Consorti europeu (Felix Kracht com a figura tècnica destacada)	Ozires Silva
Seu principal	Chicago, EUA (ara Arlington, Virgínia)	Tolosa de Llenguadoc, França	San José dos Campos, Brasil
Tipus d'empresa	Nord-americana, privada	Europea, consorci multinacional	Brasilera, antiga empresa estatal
Segment principal	Aviació comercial, militar i aeroespacial	Aviació comercial, militar i espacial	Aviació regional, militar i executiva
Model més venut	Boeing 737	Airbus A320	Embraer E-Jets
Any del primer vol d'aquest model	1967	1987	2002
Ús principal del model	Rutes de curta i mitjana distància	Rutes de curta i mitjana distància	Rutes regionals

Innovacions destacades	Tecnologia avançada en grans avions (B787, B777X)	Sistema <i>fly-by-wire</i> , cabina digital integrada	Eficiència en avions regionals, E-Jets E2
Impacte mundial	Primer fabricant durant dècades; referent històric	Principal competidor global de Boeing	Líder mundial en el segment regional
Crisi destacada	Accidents del 737 Max (2018-2019) i crisi de reputació	Retards en el projecte A380 i problemes de producció	Intent de fusió amb Boeing no concretada (2020)

Tot i que Boeing, Airbus i Embraer operen en el mateix sector, cadascuna destaca en segments diferents dins del mercat de l'aviació. Airbus i Boeing són els principals grans competidors globals en avions comercials de mitjana i llarga distància. Boeing destaca per la seva història i els models més populars com 737 o 787. Mentrestant, Airbus ha aconseguit un gran èxit amb la família A320 gràcies a les importants innovacions tecnològiques. Embraer, per altra banda, està principalment especialitzada en avions regionals més petits, ideals per a rutes curtes.

3.4 Estudis comparatius de comandes i lliuraments entre Airbus i Boeing l'any 2024

A continuació es mostren les dades de vendes i lliuraments d'aeronaus de l'any 2024 de les dues companyies més rellevants del sector, Airbus i Boeing, segons les seves pàgines oficials i de mitjans especialitzats com CNBC i altres portals d'informació.

Companyia	Comandes Brutes	Comandes Netes	Lliuraments Totals	Avió més lliurat	Avió més encarregat
Airbus	878	826	766	Família A320 (602)	Família A320
Boeing	569	317	348	737 MAX (265)	737 MAX

Lliuraments l'any 2024 de Boeing

Boeing	Nombre de lliuraments
Família 737	265
Família 767	18
Família 777	14
Família 787	51
TOTAL	348

Lliuraments l'any 2024 d'Airbus

Airbus	Nombre de lliuraments
Família A220	75
Família A320	602
Família A330	32
Família A350	57
TOTAL	766

- Comandes Brutes: Comandes realitzades a la companyia respectiva.
- Comandes Netes: Comandes sense contar les cancel·lades o canviades.

Per Airbus, el *backlog*, és a dir, la cartera d'encàrrecs a final d'any va ser: 8.658 avions pendents, mentre que al final de l'any 2024, Boeing tenia 5.595 avions pendents per lliurar.

3.5 Els accidents d'avió

Malauradament, els accidents han marcat la història de l'aviació. Tot i la seva gravetat i la pèrdua de vides humanes, s'han convertit en un aprenentatge i en una oportunitat per identificar errors, millorar protocols i fer millores perquè no passin un altre cop. A continuació s'han escollit 10 dels incidents més impactants i importants per la història aeronàutica comercial amb la finalitat d'analitzar-los i comentar-los.

3.5.1. Japan Airlines 123 (1985)

La mampara de pressió va fallar a causa d'una reparació incorrecta, els pilots van començar a perdre el control de l'aeronau i fragments d'aquesta van començar a despendre's del cos de l'avió i caure. A causa d'aquests fragments les línies hidràuliques es van fer malbé, causant una pèrdua de control. La cabina es va despressuritzar i pel sistema automàtic de l'aeronau, les màscares d'oxigen van caure. Els pilots van mantenir el control durant 30 minuts aproximadament, però malauradament, al final l'avió es va estavellar.

3.5.2. Desastre de l'aeroport de Tenerife (1977)

El 27 de març de 1977, dos Boeing 747 (un de KLM i un de Pan Am) van col·lidir a la pista de l'aeroport de Tenerife en condicions de baixa visibilitat i amb greus errors de comunicació. El capità del vol KLM va iniciar l'enlairament sense haver rebut l'autorització corresponent, motivat en part per la pressió de complir amb els temps de servei establerts per l'aerolínia. Mentrestant, el Pan Am, per error, no va sortir de la pista en la sortida assignada. Aquesta combinació de factors, va provocar la col·lisió, que va ocasionar 583 morts, i es considera l'accident d'aviació més mortal de la història.

3.5.3. Col·lisió de Charkhi Dadri (1996)

Dos avions comercials, un operat per Saudia i un altre per Kazakhstan Airlines, van topar en ple vol a prop de Charkhi Dadri, Índia. La manca de coordinació de trànsit aeri i un malentès a les instruccions d'altitud, van portar a la tragèdia. Van morir 349 persones a l'accident. Posteriorment, va implicar la implantació obligatòria del sistema de prevenció de col·lisió aèria (TCAS) en tots els avions que operen a l'Índia.

3.5.4. Air France Vol 4590 - Concorde (2000)

El Concorde, operat per Air France va patir un accident mortal just després del seu enlairament. Una làmina metàl·lica caiguda d'un avió anterior, va perforar un pneumàtic del Concorde, els fragments resultants van impactar amb el dipòsit de combustible provocant un incendi i la pèrdua de control de l'avió, causant 113 morts entre els ocupants i persones a terra.

3.5.5. Pan Am Vol 103 (1988, Lockerbie)

El 21 de desembre de 1988, el vol Pan Am 103 va explotar sobre Lockerbie (Escòcia) a causa d'una bomba a bord col·locada al compartiment número 1 de càrrega. Aquest atemptat va causar la mort de 270 persones en total. Va ser un dels primers atemptats terroristes a l'aviació comercial i les investigacions posteriors van atribuir-ne la responsabilitat a agents de la intel·ligència líbia.

3.5.6. Air India Vol 182 (1985)

L'avió es va desintegrar a l'oceà després d'una explosió en ple vol, a causa d'una bomba atribuïda a militants sikhs extremistes (Babbar Khalsa). L'atemptat va provocar 329 morts i es tracta de l'atemptat terrorista més mortífer de l'aviació canadenca fins a l'11 de setembre de 2001.

3.5.7. Delta Air Lines Vol 191 (1985)

El 2 d'agost de 1985, un avió Lockheed L-1011 Tristar, es va estavellar a Texas, durant una tempesta intensa a causa de la pèrdua de potència en un dels motors. Les condicions meteorològiques també van jugar un paper important. La catàstrofe va provocar 138 morts.

3.5.8. China Airlines Vol 611 (2002)

Un avió de càrrega Boeing 747-200F, es va desintegrar en ple recorregut del vol (aproximadament 20 minuts després del seu enlairament) a causa d'una fatiga estructural deguda al manteniment inadequat i a una reparació no efectuada correctament. L'incident va provocar 225 morts.

3.5.9. Turkish Airlines Vol 981 (1974)

Un avió McDonnell Douglas DC-10, es va estavellar a causa d'una descompressió molt ràpida. Aquesta va tenir lloc per l'obertura d'una porta de càrrega mal dissenyada i mal tancada en mig del vol. L'obertura va provocar una descompressió sobtada provocant la separació del pis de la cabina i el trencament de cables de l'aviònica. Aquesta va causar que els controls de vol es fessin malbé. L'incident va causar 346 morts.

3.5.10. American Airlines Vol 191 (1979)

El 25 de maig de 1979, un avió McDonnell Douglas DC-10, enmig de l'enlairament, va perdre el motor esquerre a causa de problemes en el disseny i manteniment, causant que l'avió s'estavellés, ocasionant la mort de 275 persones en total.

3.5.11. Atemptats de l'11 de setembre del 2001 - World Trade Center, EUA

L'11 de setembre de 2001, 19 terroristes vinculats amb el grup Al-Qaida, van segrestar quatre avions comercials amb passatgers a bord i els van utilitzar com armes suïcides per atacar objectius emblemàtics als Estats Units. Dos d'aquests aparells varen ser llançats contra les Torres Bessones del World Trade Center a Nova York. Un tercer avió va impactar contra el Pentàgon, la seu del departament de Defensa dels EUA, situada a Arlington, Virgínia. El quart avió, el vol United Airlines 93, va estavellar-se en un camp de Pensilvània després que els passatgers fessin una acció col·lectiva per frenar els segrestadors, impedit que l'aeronau arribés al seu eventual objectiu, que es creu que hauria pogut ser el Capitoli o la Casa Blanca. Els atacs van provocar gairebé 3 000 morts, inclosos tots els ocupants dels avions, destacant com el pitjor atemptat terrorista aeri de la història dels Estats Units.

A partir de l'anàlisi dels diferents incidents al llarg de la història, es pot afirmar que la seguretat actual s'ha construït sobre les lliçons apreses de tragèdies passades. Cada incident esmentat i no esmentat en aquest TDR, ja sigui causat per falles mecàniques (com per exemple l'accident de *Japan Airlines 123 (1985)*), errors humans i de comunicació (com per exemple el *Desastre de l'aeroport de Tenerife (1977)*) o actes de terrorisme (com els *Atemptats de l'11 de setembre del 2001 - World Trade Center, EUA*) ha impulsat la indústria a millorar notablement el disseny de les aeronaus, el protocol de manteniment, la formació dels pilots i de la tripulació de cabina i les mesures de seguretat. Però tot i les enormes millores, l'aviació no és immune a les noves formes de risc.

3.6 La competència entre manufacturers

La competència entre fabricants aeronàutics ha estat, en moltes ocasions, positiva perquè cada nou avió ha incorporat millores notables respecte a versions anteriors. Tot i això, aquesta pressió per intentar guanyar a la competència, pot tenir conseqüències negatives si es prenen decisions prioritzant la rapidesa o l'economia, per damunt de la seguretat.

A continuació es descriu l'exemple del BOEING 737 MAX 8. Airbus va presentar el model **A320neo** com una evolució de la família A320, equipat amb motors més moderns (CFM LEAP-1A o Pratt & Whitney PW1100G) i amb *sharklets* (extrems de l'ala) que aportaven entre un 15 % i un 20 % d'estalvi de combustible respecte als models anteriors.

Aquesta millora va captar l'interès d'aerolínies, fent que Boeing perdés comandes importants. En resposta, Boeing va optar per actualitzar el model ja existent i va llançar el **737 MAX**, en lloc de dissenyar un nou avió des de zero. Els nous motors LEAP-1B eren de gran diàmetre, i les ganxetes (pylons) de l'ala del 737NG no permetien col·locar-los amb prou espai respecte al terra. Així, Boeing els va situar més cap endavant i més alts que en generacions anteriors.

Aquesta col·locació desplaçada, va modificar l'estabilitat longitudinal de l'avió. En situacions d'alta posició del morro (angle d'atac / AOA elevat), la combinació del nou motor i la seva ubicació podia fer que el 737 MAX tirés cap amunt de manera més pronunciada, incrementant el risc de pèrdua de sustentació (*stall*).



Figures 30 i 31. Comparació dels 2 avions i la trajectòria del nas de l'avió.

A causa d'això van crear un nou programari de manera que si l'avió detectava un angle d'atac molt elevat, baixava el nas automàticament. Aquest sistema es va anomenar MCAS (*Maneuvering Characteristics Augmentation System*). Boeing va vendre aquest avió, el 737MAX, dient que era essencialment el mateix que les generacions anteriors i, que només amb 2 hores de pràctiques, es podia volar amb aquest avió, però en cap lloc mencionava que havien implantat aquest nou programari. Per això, molts pilots van reportar que el morro de l'avió s'inclinava cap avall durant el vol de manera inesperada.

El 29 d'octubre del 2018, el vol de Lion Air 610 va enlairar-se i en només 12 minuts l'avió es va estavellar al mar. Els pilots varen intentar lluitar amb el programari MCAS perquè aquest baixava el nas de l'avió abruptament, sense control. A més, no es podia desactivar i en els manuals de l'avió no s'informava de l'existència

d'aquest programari. Aquest cas, juntament amb un altre incident del 2019, va provocar la suspensió de tots els 737 MAX als Estats Units i altres països, iniciant una investigació exhaustiva. Finalment, Boeing va anunciar que redissenyaria el programari, faria més visible el sistema en els manuals, incorporaria l'opció de desactivació del MCAS i que faria una formació per als pilots.

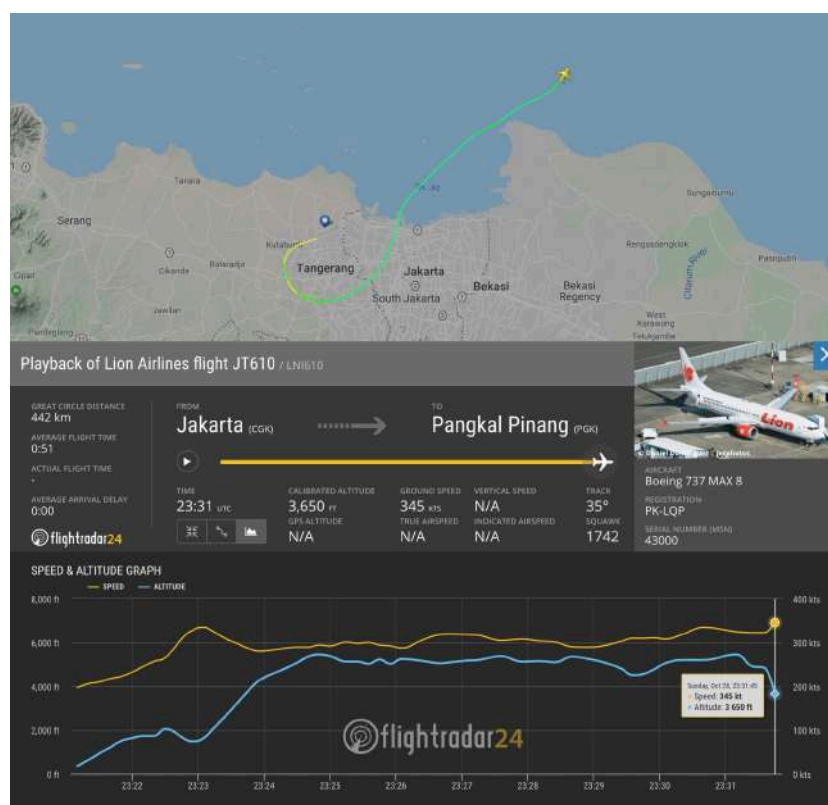


Figura 32: Dades proporcionades per Flightradar24 sobre el vol Lion Airlines JT610 amb un Boeing 737 MAX 8

Taula comparativa entre l'A320neo i el 737 MAX 8

Aspecte	Airbus A320neo	Boeing 737 MAX 8
Millores eficàcia	Motors nous i <i>sharklets</i> , estalvi del 15–20 %	Motors LEAP-1 B i suport elevat.
Impacte estructural maneig	Disseny robust amb mínims canvis aerodinàmics	Nous motors desplaçats afecten la dinàmica; requereixen MCAS per estabilitzar la resposta

Transparència i formació	Clar perfil de formació i canvis tecnològics	MCAS no mencionat als manuals; cap formació específica al principi
Crisi de seguretat	Sense incidents per aquesta raó	Accidents mortals (Lion Air, Ethiopian) atribuïts al MCAS; revisió global del programari i formació
Reacció posterior	Actualitzacions visibles i planificades	Actualitzacions de programari, formació obligatòria, opcions de desactivació del MCAS i doble sensor

3.7 Procediments en cas d'una emergència.

En l'àmbit de l'aviació, hi ha molts tipus d'emergència, que poden anar des d'una petita incidència en les comunicacions, la presència d'algun passatger disruptiu en el vol, fins a alguna fallada en el motor o en el combustible.

Quan es parla d'accidents aeris, la gent pensa en el pitjor, però volar en avió és, estadísticament, un dels mitjans de transport més segurs. Aquesta seguretat es deu en gran part a la rigorosa formació de les tripulacions, la tecnologia avançada i l'existència de procediments d'actuació molt ben definits per a cada tipus d'emergència. A continuació s'explicaran alguns procediments simplificats.

Cas 1. Despressurització ràpida de la cabina

El procediment seria el següent:

- Automàticament l'avió detecta una despressurització i deixa caure automàticament les màscares dels passatgers. Dins la cabina dels pilots, comencen a sonar alarmes.
- Una vegada els pilots s'han posat una màscara i ja s'han comunicat per ràdio, comencen a baixar ràpidament a uns 10.000 peus o 3 km d'altura (Com més altura tenen, menys pressió atmosfèrica tenen i menys oxigen hi ha).
- Finalment, fan un aterratge d'emergència a l'aeroport més proper.

Cas 2. Fallada d'algun motor

El procediment seria el següent:

- Assegurar el control de l'avió amb un sol motor, identificar la causa i quins altres components s'han fet malbé.
- Els pilots, depenent del tipus de motor i les indicacions del manual de l'avió, haurien de tallar el subministrament de combustible i utilitzar els extintors si és necessari.
- Haurien de comunicar-se amb l'ATC (*Air Traffic Control*, torre de control) i declarar una emergència.
- Després han d'avaluar si tenen temps i combustible per poder arribar a l'aeroport més proper.
 - Si poden arribar-hi, procediran a apropar-s'hi i aterrar. Els serveis d'emergència els esperaran allà.
 - Si no poden arribar-hi, hauran de fer un aterratge d'emergència sobre l'aigua o en algun terreny pla.

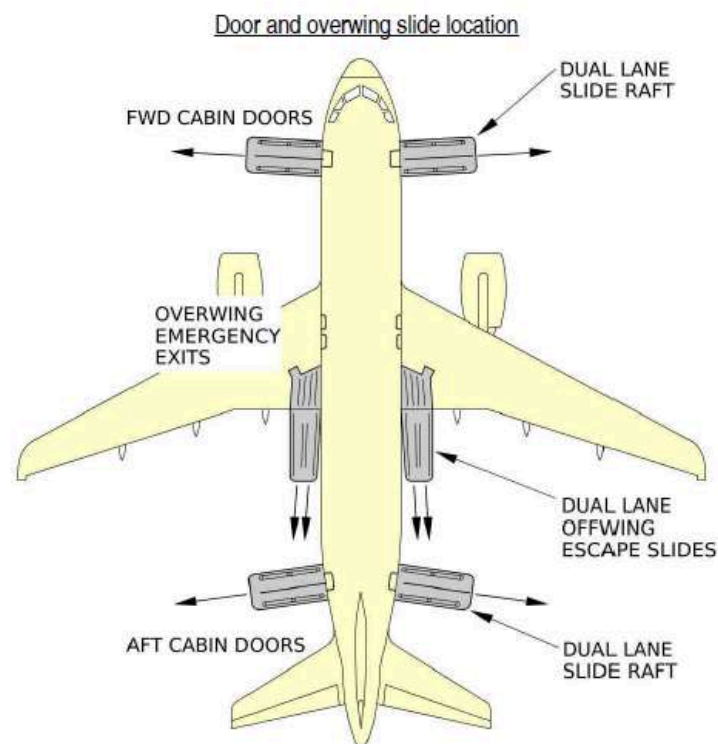


Figura 33: Diagrama de les ubicacions de la porta i de les sortides sobre de l'ala equipades amb balsa o tobogan inflable.

Sigui quina sigui l'emergència o el tipus d'aterratge, els pilots i la tripulació estan entrenats per qualsevol mena d'emergència. Els avions estan equipats amb extintors, desfibril·ladors, farmacioles, bales salvavides, flotadors, etc. També cada avió té integrat uns tobogans inflables que poden ser utilitzats com bales depenent

del tipus d'emergència. Durant una evacuació d'emergència, és fonamental seguir les indicacions de la tripulació i no recollir cap objecte personal. Segons la normativa de l'**EASA** (Agència Europea de Seguretat Aèria), tots els avions han de poder ser evacuats en un màxim de 90 segons, independentment de la seva mida i utilitzant només la meitat de les sortides d'emergència disponibles.

Tot i això, aquesta normativa sovint no reflecteix la realitat actual, ja que molts passatgers no cooperen, entren en pànic o intenten recuperar les seves pertinences, posant en risc tant la seva pròpia vida com la dels altres. Per aquest motiu, diversos experts consideren que caldria revisar i actualitzar els protocols d'evacuació tenint en compte el comportament real dels passatgers.

4. INFRAESTRUCTURES AEROPORTUÀRIES

Els avions no es poden enlairar sense tenir infraestructures que ho permetin. Els aeroports són la principal estructura i són imprescindibles per fer possible els vols d'avió. Dins dels aeroports, tenim instal·lacions que faciliten l'enlairament o l'aterrament.

4.1 L'aeroport

Un aeroport és una infraestructura dissenyada per permetre l'enlairament i l'aterratge d'aeronaus, així com la seva operació segura i eficient. Disposa de diversos equipaments i serveis que faciliten tant el transport de passatgers com el de mercaderies. A més de les pistes de vol, un aeroport pot incloure terminals, hangars, torres de control i àrees tècniques i comercials.

Els aeroports es divideixen principalment en dues grans àrees funcionals:

- **Air-Side (costat aeri)**

És la zona restringida on operen les aeronaus. Només hi tenen accés el personal autoritzat i les aeronaus.

- **Pistes d'enlairament i d'aterratge:** espais dissenyats per al moviment vertical dels avions.
- **Pista de rodadura (taxiways):** camins que connecten la pista amb les àrees de servei o estacionament.

- **Rampes o plataformes:** zones on els avions poden estacionar per embarcar o desembarcar passatgers i càrrega. Allà se subministra el menjar que se serveix als passatgers i es reomplen els dipòsits de gasolina.
- **Proveïment de combustible i càrrega de menjar:** serveis que preparen l'avió abans del vol, la carrega i proveïment normalment es fan a les rampes o plataformes abans que els passatgers pugin a l'avió.
- **Torre de control:** centre de gestió del trànsit aeri que coordina els moviments de les aeronaus, la seva comunicació i vetlla per la seguretat i la prevenció d'accidents.
- **Ajuts a la navegació i a l'aterratge:** sistemes com l'ILS (sistema d'aterratge per instruments), llums de pista o radars.
- **Serveis d'emergència:** bombers, ambulàncies i equips de rescat disponibles les 24 hores.
- **Land-Side (costat terrestre)**
 - Aquesta és la part accessible al públic en general i és on es concentren les activitats relacionades amb l'atenció als passatgers.

Serveis i instal·lacions principals:

 - **Terminals de passatgers:** edificis on els viatgers accedeixen a tots els serveis previs i posteriors al vol.
 - **Taulells de facturació:** espais on es lliuren les maletes i s'obté la targeta d'embarcament.
 - **Controls de seguretat i passaport:** per garantir la seguretat abans d'accedir a l'Air-Side.
 - **Portes d'embarcament:** punts d'accés a l'avió des del terminal.
 - **Cintes de recollida d'equipatge:** on els passatgers recuperen les seves maletes un cop aterrats.
 - **Botigues, restaurants i serveis comercials.**
 - **Aparcaments, transport públic i lloguer de vehicles.**

Hi ha diferents tipus d'aeroports. En aquest treball esmentarem els 4 tipus més essencials:

- **Aeroports comercials i/o civils:** Són aquells aeroports que tenen com a objectiu només el transport de passatgers. Algun exemple d'aeroport:
 - Girona - Costa Brava, Espanya (GRO)
 - Bucarest Henri Coanda, Romania (OTP)
- **Aeroports d'aviació general:** També venen a ser vols de transport de passatgers, però només són vols privats. En aquest tipus d'aeroports també s'hi fan classes d'aviació. Algun exemple d'aeroport:
 - Sabadell, Espanya (QSA)
 - Cuatro Vientos, Madrid (LECU)
- **Aeroports de càrrega aèria:** Com diu el nom, són només utilitzats pel transport de càrregues. Algun exemple d'aeroport d'aquest tipus seria:
 - Leipzig/Halle, Alemanya (LEJ) Centre de DHL
 - Saragossa, Espanya (ZAZ)
- **Aeroports mixts.** Són aquells que combinen diferents funcions, com ara vols civils, de càrrega i/o militars. Algun exemple seria:
 - Barcelona – El Prat (BCN), Espanya: combina operacions civils i de càrrega.
 - John F. Kennedy (JFK), Nova York, EUA: opera com a aeroport civil i de càrrega internacional.
 - Adolfo Suárez Madrid-Barajas (MAD), Espanya: combina funcions civils, de càrrega i puntualment militars.

També cal comentar que els aeroports poden ser **nacionals** o **internacionals**, segons si operen vols dins del mateix país o amb connexions amb altres països.

4.2 Ajudes per l'aterratge

L'aterratge és una de les fases més crítiques del vol. Per garantir que les aeronaus comercials aterrin amb seguretat, especialment en condicions de baixa visibilitat o meteorologia adversa, s'utilitzen diversos sistemes d'ajuda a l'aterratge. Aquests poden ser de tipus visual, electrònic o radaritzat, i treballen conjuntament per guiar el pilot fins a la pista de forma precisa. En aquest treball se'n descriuen alguns, utilitzats en aeroports comercials.

- **Ajudes visuals**

Aquestes ajudes guien el pilot mitjançant sistemes de llum col·locats a les proximitats de la pista d'aterratge.

- LLS (Sistema d'aterratge amb llum): Aquest consta d'un conjunt de llums que es troben abans i al llarg de la pista d'aterratge per facilitar la identificació visual durant l'aproximació i l'aterratge, especialment de nit o en condicions de baixa visibilitat. Inclou llums d'aproximació, de llindar de pista, de centre de pista, entre d'altres.

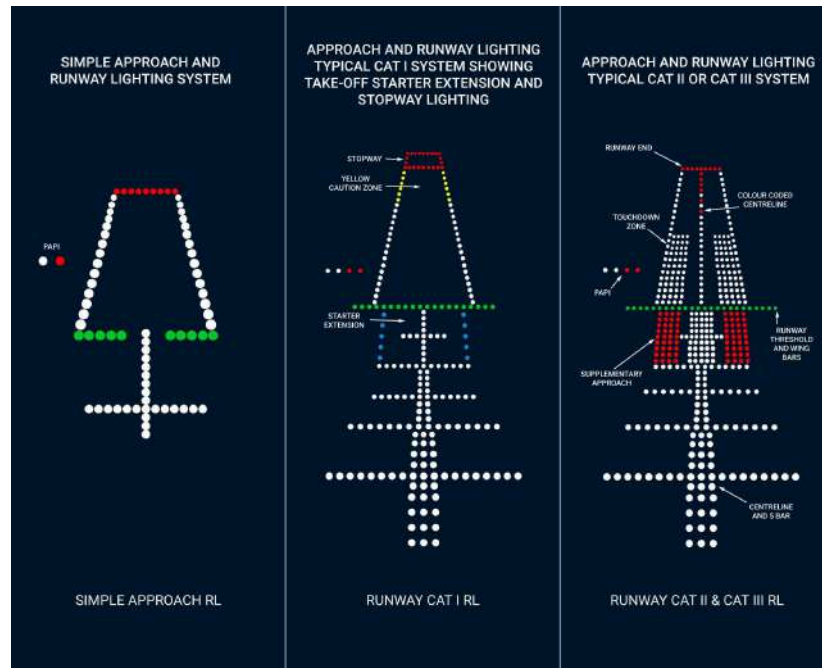


Figura 34: Diferents tipus de pistes d'aterratge i les llums que han de tenir per reglament.

- PAPI (*Precision Approach Path Indicator*, Indicadors de precisió del trajecte d'aproximació): Els PAPI consisteixen en 4 llums que poden ser vermelles o blanques. Depenent de l'angle de l'avió amb el qual s'estigui aproximant a la pista, s'il·luminaran de color blanc o vermell:
 - **2 vermelles i 2 blanques** = trajectòria correcta.
 - **Més vermelles** = l'avió està volant massa baix.
 - **Més blanques** = l'avió està volant massa alt.

Aquest sistema permet al pilot ajustar l'angle de descens en temps real. Aquestes llums estan en 1 fila de 4 llums.

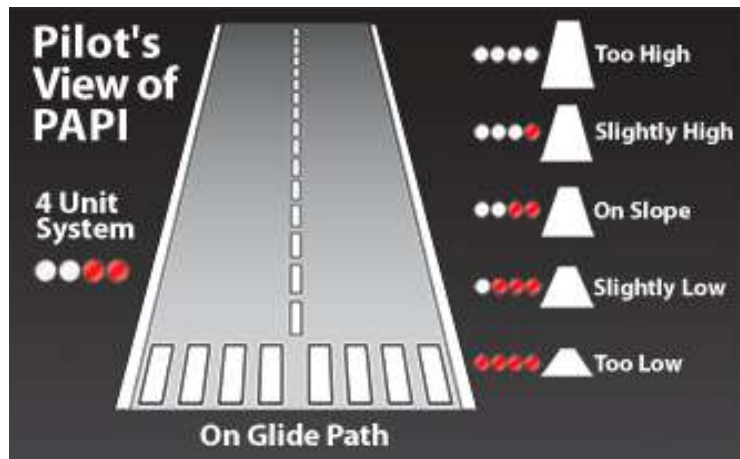


Figura 35: Il·lustració i petita explicació visual dels PAPI.

- VASI (Visual Approach Slope Indicator, l'indicador visual de pendent d'aproximació) Són molt similars als PAPI, encara que aquests es veuen de més lluny. Els PAPI però, són més precisos. Funcionen de manera similar només que hi ha 2 files de llums.

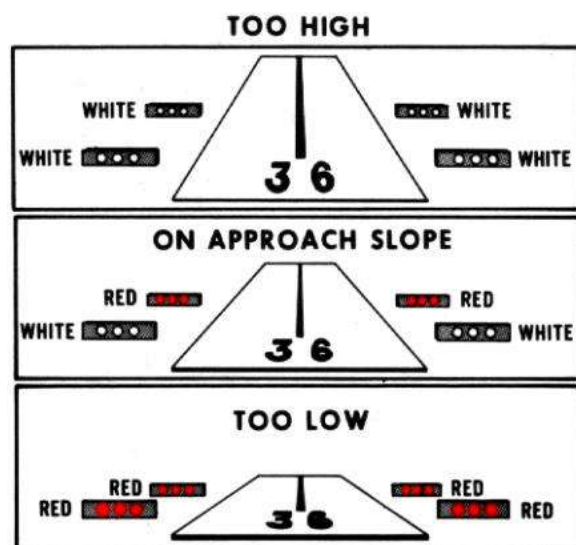


Figura 36: Il·lustració i petita explicació visual dels VASI.

- **Ajudes electròniques i radaritzades**

Aquestes ajudes utilitzen radis, antenes i radars per transmetre informació a l'aeronau o als controladors aeris, especialment útils quan no hi ha visibilitat exterior.

- ILS (Sistema d'aterratge a través d'instruments): Aquest sistema està establert per la OACI (Organització d'Aviació Civil Internacional).

Aquest sistema guia l'avió horitzontalment (amb una antena localitzadora al final de la pista) i verticalment (mitjançant l'antena de *glide slope*, que marca la trajectòria de descens). És especialment útil en aproximacions **de precisió** i en condicions meteorològiques adverses.

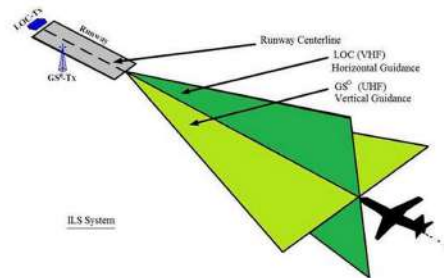


Figura 37: Il·lustració amb explicació visual d'un sistema d'aterratge a través d'instruments.

- ASR (Radar de vigilància de l'aeroport): Aquest radar permet als controladors aeris rastrejar els avions que estan a prop de l'aeroport per mantenir constant seguiment i evitar incidents.



Figura 38: Fotografia d'un ASR

- ASDE (Equips de detecció de superfícies aeroportuàries): Aquesta és una antena/radar que controla i segueix el moviment de les aeronaus a terra dins de l'aeroport. Serveix per evitar col·lisions a terra i és especialment útil en condicions de boira o baixa visibilitat.

5. VOLS, RUTES COMERCIALS I LA DETECCIÓ D'AQUESTES

Després d'analitzar tots aquests temes, sorgeix una pregunta clau: com s'organitza i es gestiona el moviment de milers d'avions que volen simultàniament de manera segura i eficient?

5.1 La navegació i la vigilància aèria.

L'aire està dividit per unes línies invisibles anomenades espais aeris. La majoria d'aquests estan monitoritzats les 24 hores del dia per una persona i estan categoritzats en diferents lletres, de la A a la G. Les aeronaus, per poder passar per aquests espais, han de complir certs requisits, essent l'A el més estricte i l'espai G, el més lliure. Però si no sabem quins vols arribaran i quins marxaran del nostre aeroport, no és possible realitzar cap vol i l'espai aeri estaria buit. Així que, com podem realitzar un vol?

Un dels primers passos, tant si es tracta d'un vol privat com si és un vol comercial, és tenir un Pla de vol. Aquest pla de vol ha de ser entregat habitualment per un programari proporcionat per ENAIRE anomenat ICARO. En el pla de vol hi ha diferents dades com els pilots, el dia i hora que s'efectuarà aquest vol, la destinació, l'aeroport d'origen, etc. Una vegada entregat, el sistema operatiu de les torres i centres de control espanyoles anomenat SACTA, s'actualitza. En el cas d'Europa, el pla de vol també s'envia a una organització anomenada EUROCONTROL, que és la responsable de distribuir el pla de vol a tots els centres de control per on passarà l'avió.

En el supòsit d'un vol comercial, l'aerolínia primer ha de planejar les rutes i fer tractes amb els aeroports per poder reservar uns espais de temps anomenats *airport slots* (franja horària aeroportuària), on tenen una fracció de temps per poder aterrar en l'aeroport. Aquests *airport slots* poden arribar a ser molt cars i molt limitats així que de vegades ho intenten negociar. Després amb EUROCONTROL també proporcionen uns *slots*, però aquests són diferents i són anomenats *ATFM slots*.

Els *ATFM slots* no són hores a l'atzar, sinó que estan planejades i calculades conjuntament amb EUROCONTROL amb el seu programari IFPS (Sistema integrat de processament de plans de vol inicials) . Alguns dels espais aeris per on passa l'avió, tenen una capacitat màxima. Com que els controladors aeris tenen una àrea a gestionar, se li posa un límit perquè el controlador aeri pugui controlar tots els avions adequadament. Per això hi ha casos, on si per exemple un vol té un endarreriment per una condició no controlable, és possible que aquest s'hagi de quedar a terra fins que hi hagi un *slot* disponible si l'espai aeri està molt concorregut.

Una vegada completats tots aquests passos, es planifica qui formarà part de la tripulació. A continuació, es venen els seients del vol i una vegada arribat el dia, s'efectua el vol.

La detecció i el seguiment d'aquests avions és essencial. Només saber per on passaran és útil, però en cas d'una emergència o d'un desviament del vol, ja no sabríem localitzar-lo. Per això un transponedor és molt important i alhora imprescindible pel control del trànsit aeri.

5.2 La detecció d'aeronaus

Un transponedor és un dispositiu instal·lat a bord el qual conté tota la informació actualitzada del vol en curs.

El radar secundari de vigilància (SSR, per les sigles en anglès *Secondary Surveillance Radar*) envia senyals d'interrogació a totes les aeronaus dins del seu abast a una freqüència de 1030 MHz. Els transponedors de les aeronaus reben aquests senyals i responen automàticament amb un missatge a 1090 MHz, que inclou informació com la identificació de l'avió, l'altitud i altres dades de vol.

Aquest sistema té dues funcions principals:

1. Detecció i seguiment dels vols des de terra, facilitant la gestió per part del control de trànsit aeri.
2. Assistència al sistema ACAS (*Airborne Collision Avoidance System*), que té com a objectiu prevenir col·lisions entre aeronaus.

El sistema ACAS, terme oficial utilitzat per l'OACI (ICAO), s'implementa a través del TCAS (*Traffic Collision Avoidance System*), que és el dispositiu realment instal·lat a

les aeronaus. El TCAS utilitza el transponedor per enviar interrogacions a altres aeronaus pròximes i rebre'n les respostes. Això permet detectar possibles conflictes de trajectòria entre aeronaus i actuar abans que es produeixi una situació de risc.

El TCAS funciona amb tres nivells d'alerta:

- STBY (Standby): significa que no hi ha aeronaus properes amb les que hi hagi risc de col·lisió.
- TA (Traffic Advisory): avisa a la cabina de l'avió que hi ha algun vol en proximitat però no es donen instruccions de maniobra.
- RA (Resolution Advisory): entre 15 i 35 segons abans d'un possible conflicte, el sistema dona instruccions concretes de maniobra a ambdues aeronaus. Aquest t'ordena una maniobra: **“Puja, puja ara”** o **“Baixa, baixa ara”** simplement per evitar la col·lisió.

El TCAS és prioritari, significant que en cas de conflicte, les instruccions emeses pel TCAS prevalen sobre les del controlador de trànsit aeri. Per exemple, si un controlador et dona una instrucció, però el TCAS emet una resolució contradictòria, el pilot està obligat a seguir les indicacions del TCAS, ja que està dissenyat per respondre de manera immediata i automàtica a situacions de risc imminent.

Pel que fa a la informació que transmeten els transponedors, aquesta es classifica en tres tipus:

- Mode A: El més bàsic, només transmeten la identificació de l'aeronau. Aquest després s'ha de descodificar veient a quin pla de vol està assignat.
- Mode C: A més de la identificació, transmet també l'altitud de l'aeronau, oferint informació rellevant pel control del trànsit.
- Mode S: És l'estàndard més avançat i el més utilitzat actualment. Aporta una gran quantitat de dades, com altitud, velocitat, direcció, identificació i altres paràmetres de vol, permetent una millor coordinació tant amb el control terrestre com amb altres aeronaus equipades amb TCAS.

Els transponedors també poden tenir integrada una funció anomenada ADS-B (*Automatic Dependent Surveillance–Broadcast*). La principal diferència entre l'ADS-B i el radar secundari convencional, és que l'ADS-B no necessita ser interrogat: les aeronaus emeten informació de manera contínua i automàtica. Això el fa especialment útil perquè si el transponedor no rep cap interrogació, no emet cap dada; en canvi l'ADS-B emet informació constantment.

Una altra diferència essencial és que el senyal del Mode S no proporciona cap informació sobre la posició de l'aeronau. Per determinar-la, s'utilitza un procés anomenat multilateració (MLAT), que calcula la posició a partir del temps que triga el senyal a arribar a diverses antenes terrestres.

Tota la informació transmesa pel transponedor (inclosa la de l'ADS-B) pot ser captada amb una antena que operi a 1090 MHz. Aquest detall és especialment rellevant per a la part pràctica del treball, ja que permet rebre dades d'aeronaus en temps real mitjançant equips senzills i accessibles.

PART PRÀCTICA

1. Elaboració d'una aplicació a partir de dades trobades per una estació detectora d'aeronaus.

L'objectiu principal d'aquesta part pràctica era fer una estació de detecció d'aeronaus feta per mi mateix amb objectes que podia obtenir. Aquesta idea va venir perquè personalment, utilitzo aplicacions de seguiment de vols com *FlightRadar24* i em va semblar curiós com obtenien aquestes dades. La majoria d'aquestes aplicacions funcionen gràcies a usuaris que instal·len una estació de detecció (especialment a llocs remots) i amb dades de satèl·lits. Això em va donar la idea de crear la meua pròpia estació per poder detectar els vols dins del radi de cobertura de l'antena.

1.1 La detecció i l'elaboració de l'estació detectora de vols

Per detectar aquests vols es pot fer de 2 maneres diferents:

- Pots crear la teua pròpia estació detectora de vols.
- Sol·licitar una estació detectora prefabricada a les aplicacions de detecció de vols. Però aquestes tenen un nombre de receptors limitat i potser no te l'entregaran si ja hi ha prou receptors en la teua zona o si la cobertura en aquesta ja és prou òptima.



Figures 39 i 40, Receptors per crear una estació. El de l'esquerra és de FlightRadar24 i el de la dreta de FlightAware

Per crear el teu propi receptor de vols necessites els següents materials:

- Una Raspberry Pi 3. Aquest és un petit ordinador que fa servir un sistema basat en LINUX. Serveix per crear projectes de qualsevol classe. En el nostre cas, serà el cervell del nostre projecte.



Figura 41: Raspberry Pi 3 B

- Una antena ADS-B que funcioni a 1090 MHz per captar els missatges que emet el transponedor de l'avió. N'hi ha de diferents tipus, però en aquest projecte farem servir una antena feta per exteriors perquè l'antena ha d'estar col·locada en un punt alt amb una vista panoràmica clara del cel. Aquest punt ideal, normalment està situat al teulat d'una casa.



Figura 42: Antena ADS-B

- Un cable d'antena coaxial. Aquest ha de ser resistent a condicions d'exteriors. Aquest, també ha de ser de baixa pèrdua en el cas que l'ordinador estigui lluny de l'antena. La pèrdua de senyal està molt relacionada amb la llargada del cable. Com més llarg és el cable, més gran és la pèrdua de senyal, fet que redueix el radi de detecció, de manera que el

nombre d'avions que podem detectar serà menor. Per totes aquestes raons, utilitzarem un cable de tipus LMR-400, que és una molt bona opció i que és ideal perquè la pèrdua no sigui molt gran.



Figura 43: Composició interior d'un cable coaxial de tipus LMR400

- Un adaptador de cable coaxial a USB. Aquest és un component indispensable perquè sense aquest adaptador no podríem llegir el que ens arriba.



Figura 44: Adaptador RadarBox ADS-B FlightStick

- Alimentació i connexió a internet (a cable si és possible)

Un cop tenim tots els components per fer aquesta estació, és l'hora de fer la instal·lació. Com abans s'ha esmentat, l'antena ha d'estar col·locada en una zona alta amb una vista panoràmica del cel clara i lliure d'obstacles. En el meu cas, aquesta s'ha instal·lat conjuntament amb un tub de ferro per augmentar l'altura de la

instal·lació. Després, l'antena amb el tub, s'han instal·lat en el teulat del bloc de pisos on visc. A continuació, s'ha de connectar el cable a l'antena i fer baixar aquest cable fins a la nostra Raspberry Pi. En el meu cas, he necessitat 12 metres de cable. Posteriorment, l'altre extrem d'aquest cable s'ha de connectar a l'adaptador i aquest a la placa.

Hem de connectar la placa Raspberry Pi a la corrent i a internet. Després haurem d'instal·lar el sistema operatiu de la placa i instal·lar el programari corresponent.

El primer programa necessari i indispensable, és l'anomenat Dump1090. Aquest és el que permet descodificar tot el que rep l'antena i ensenyar-ho per pantalla.

Posteriorment, hi ha aplicacions de seguiment de vols que tenen el seu propi programari. Si s'utilitza el seu programari, que també serveix per proporcionar les teves dades a aquestes aplicacions, et donen recompenses com subscripcions de pagament.

En tots els programes et demanaran informació sobre la posició i l'altura de l'antena. A la meua estació, he instal·lat el programari de 3 aplicacions molt conegudes: FlightRadar24, FlightAware i RadarBox.

Des del meu punt de vista, aquests 3 programaris són els millors per treure tot el potencial de la teva antena i per poder analitzar la informació proporcionada per l'antena.

Uns dels primers programes que s'instal·len, i que en el meu cas ja ve predeterminat, és FlightAware, ja que la seva instal·lació permet crear un servidor intern al qual es pot accedir des de qualsevol dispositiu connectat a la mateixa xarxa que la Raspberry Pi. Aquest servidor ofereix una interfície gràfica molt intuïtiva des d'on es pot visualitzar tota la informació recollida per l'antena, complementada amb les dades provinents dels servidors de FlightAware, cosa que resulta molt útil.

Una dificultat amb la qual vaig topar, va ser que primer vaig comprar un adaptador Coaxial USB d'AliExpress. Aquest va ser un dels pitjors errors que vaig cometre i que em va generar més problemes. A causa de la mala qualitat de l'adaptador, aquest no rebia gairebé cap vol i si en rebia, era irregular amb un rang de 10 quilòmetres màxim.

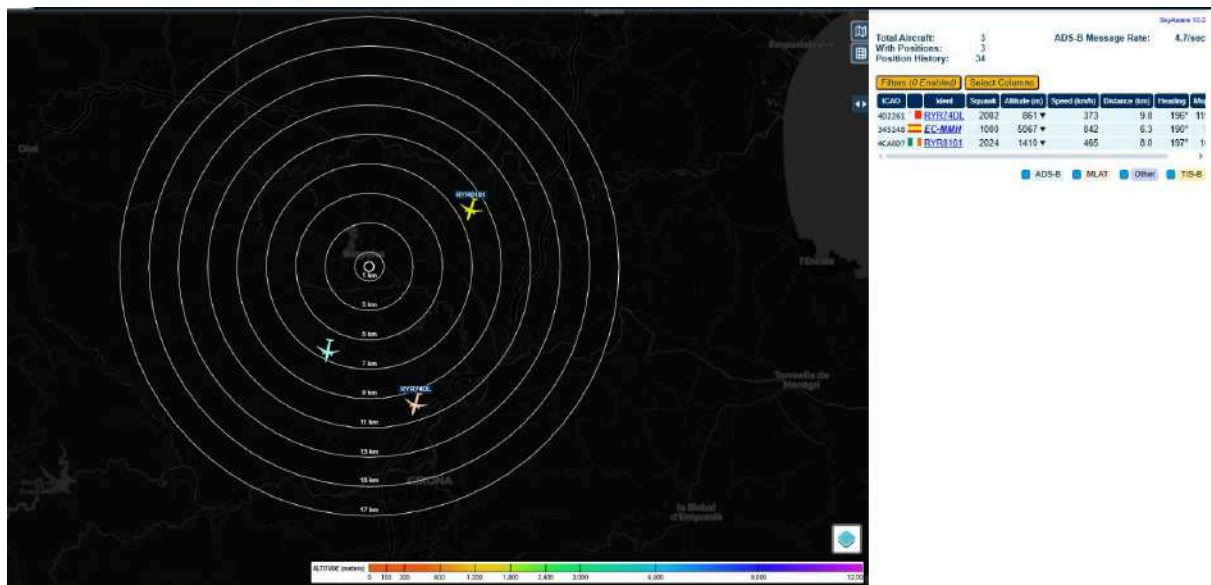


Figura 45: Imatge de la interfície de FlightAware quan l'adaptador d'AliExpress estava en ús.

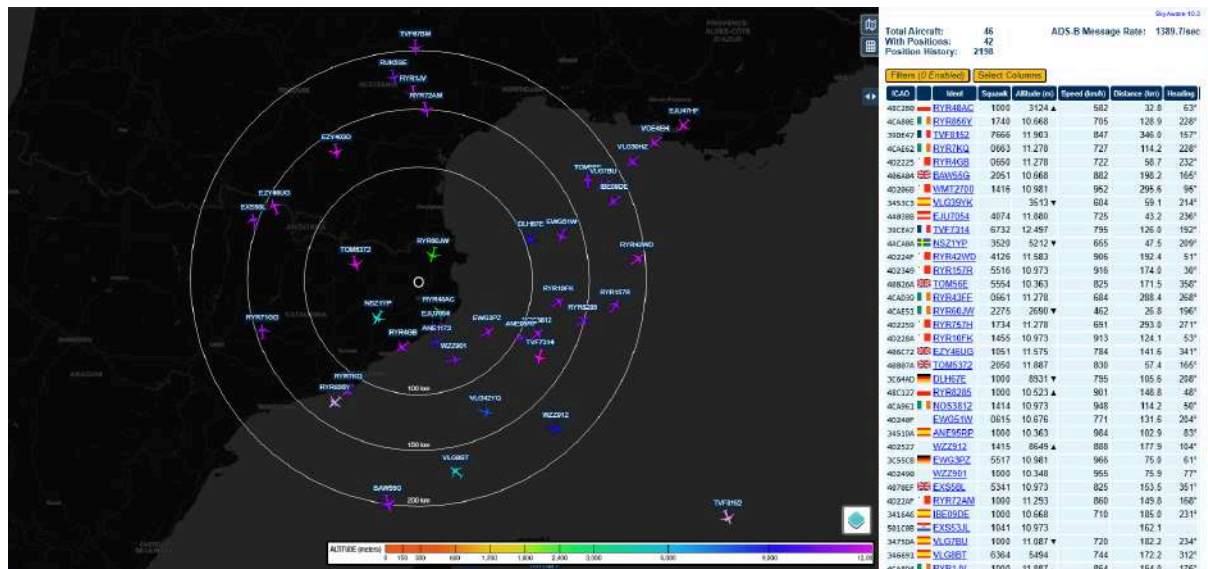


Figura 46: Imatge de la interfície de FlightAware quan l'adaptador de RadarBox estava en ús.

A més, també és possible accedir a les dades en format JSON, que és la base sense cap interfície gràfica. Aquest format serà el que utilitzarem en la segona part d'aquest treball.



Figura 49: Fotografia de la instal·lació de la Raspberry Pi.

1.2 Elaboració de l'aplicació

A partir de les dades recollides en format JSON, provinents dels vols detectats per l'antena, vaig programar una aplicació en llenguatge Python. Per fer-ho, vaig comptar amb l'ajuda d'una llibreria anomenada Folium, que permet visualitzar informació geogràfica sobre un mapa interactiu, i vàries *API* externes per obtenir dades addicionals dels vols.

L'objectiu principal era crear una interfície gràfica intuïtiva i funcional que permetés visualitzar les aeronaus detectades en temps real o mitjançant fitxers enregistrats prèviament.

Per cada vol detectat, em vaig proposar mostrar per pantalla les característiques següents:

- Imatge de l'aeronau (obtinguda amb l'API de [Planespotters.net](https://planespotting.com/))
- Aeroport de sortida i d'arribada. (mitjançant l'API de [Opensky Network](https://opensky-network.org/))
- Codi del Vol
- Altitud baromètrica en peus (ft)
- Rumb de l'avió en graus
- Velocitat relativa al terra en nusos

- Codi d'emergència (si en té)
- Categoria de l'aeronau detectada (segons el codi ICAO)
- Últim missatge rebut de l'avió, per saber quan es va actualitzar per darrera vegada la informació del vol.

Aquestes dades permeten oferir una visió bastant completa del vol detectat i ajuden a entendre millor el comportament i l'estat dels avions.

A continuació, vaig començar a desenvolupar l'aplicació, elaborant fins a 5 versions diferents, per intentar anar millorant aspectes de la interfície, la qualitat de les dades i l'eficiència del codi. El codi genera el resultat en una pàgina HTML allotjada en un servidor intern

1. Primera versió

En la primera versió, l'aplicació era força senzilla. Es basava en l'arxiu descarregat JSON i mostrava els vols detectats per pantalla només amb la informació bàsica (*codi del vol, altitud, rumb, velocitat, si té codi d'emergència o no, categoria de la nau, últim missatge rebut*).

Aquesta és una imatge de la pàgina web que surt per pantalla.

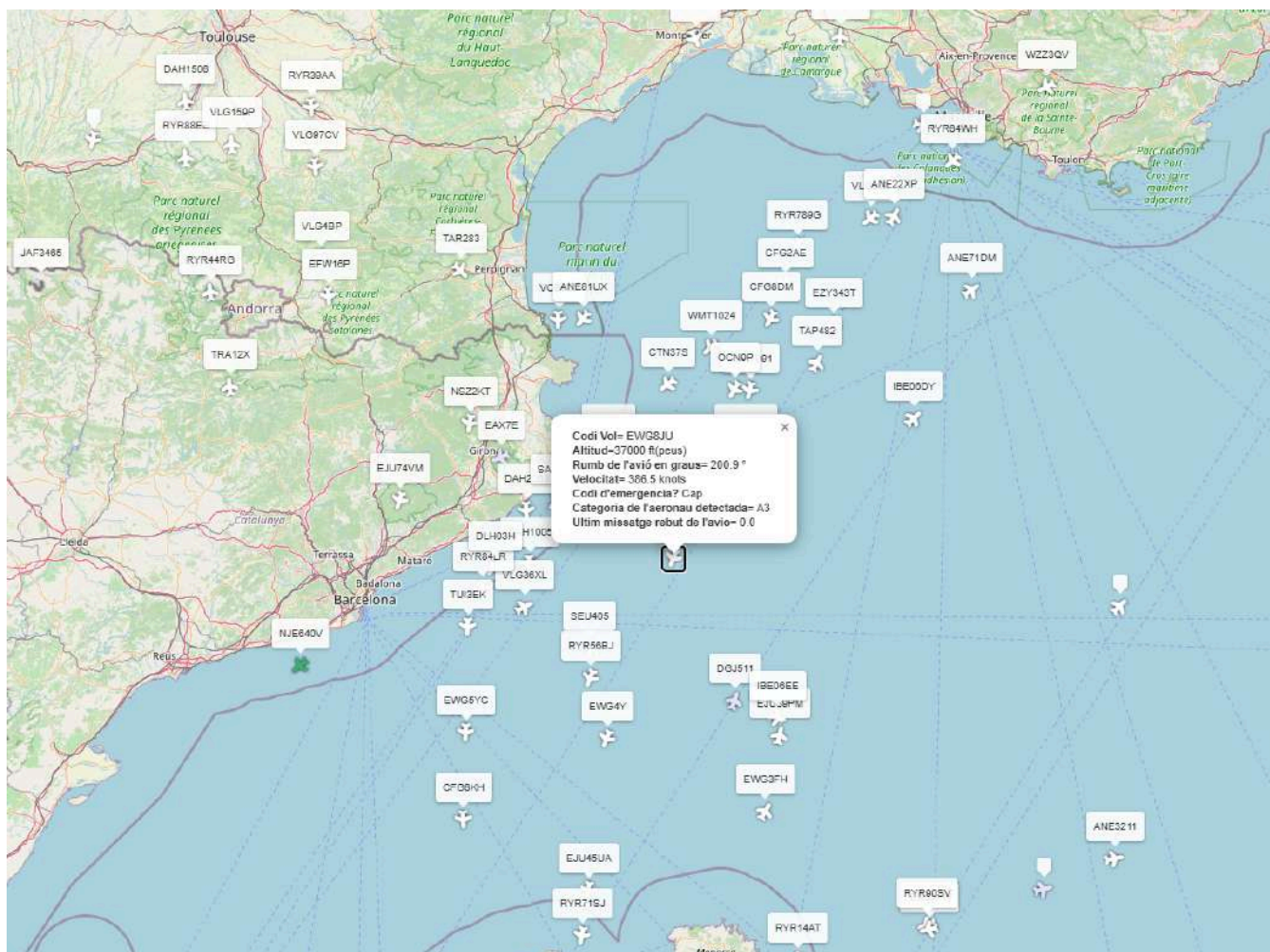


Figura 50: Captura de la primera versió de l'app.

2. Segona versió

En la segona versió, es van introduir millores a nivell visual i funcional. Es van fer més grans les icones dels avions per facilitar-ne la visualització al mapa. També es va utilitzar el codi JavaScript per millorar l'eficàcia del codi i descarregar part del processament al navegador, millorant així el rendiment general de l'aplicació.

A més, es van afegir etiquetes informatives sobre les icones per visualitzar el número de vol de cada aeronau de manera més clara. Tots aquests elements es van agrupar en una sola capa, fent que el codi fos més senzill i que les icones es generessin directament des del navegador. Això va fer que l'aplicació funcionés millor i pogués mostrar més avions sense problemes.

Aquest és el codi amb comentaris bàsics en els apartats nous per entendre el seu funcionament:

Aquesta és una imatge de la pàgina web que surt per pantalla.

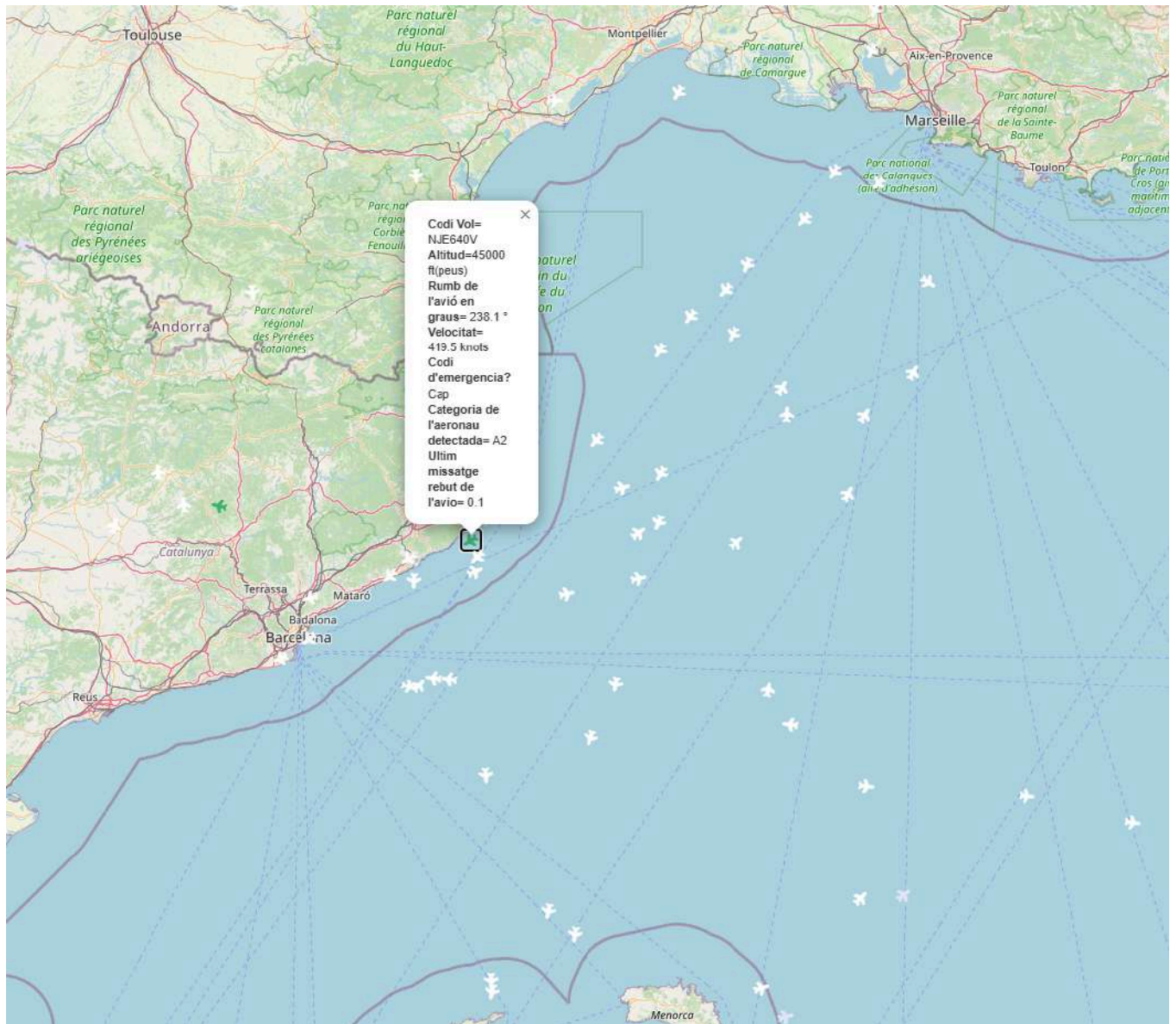


Figura 51: Captura de la segona versió de l'app.

3. Tercera versió

La tercera versió ofereix un canvi radical, ja que introdueix per primera vegada l'actualització automàtica de les dades en temps real. Per aconseguir-ho, es va dividir el treball en dues parts diferenciades:

- Un primer codi que s'encarrega de la creació del mapa i només s'executa una vegada.

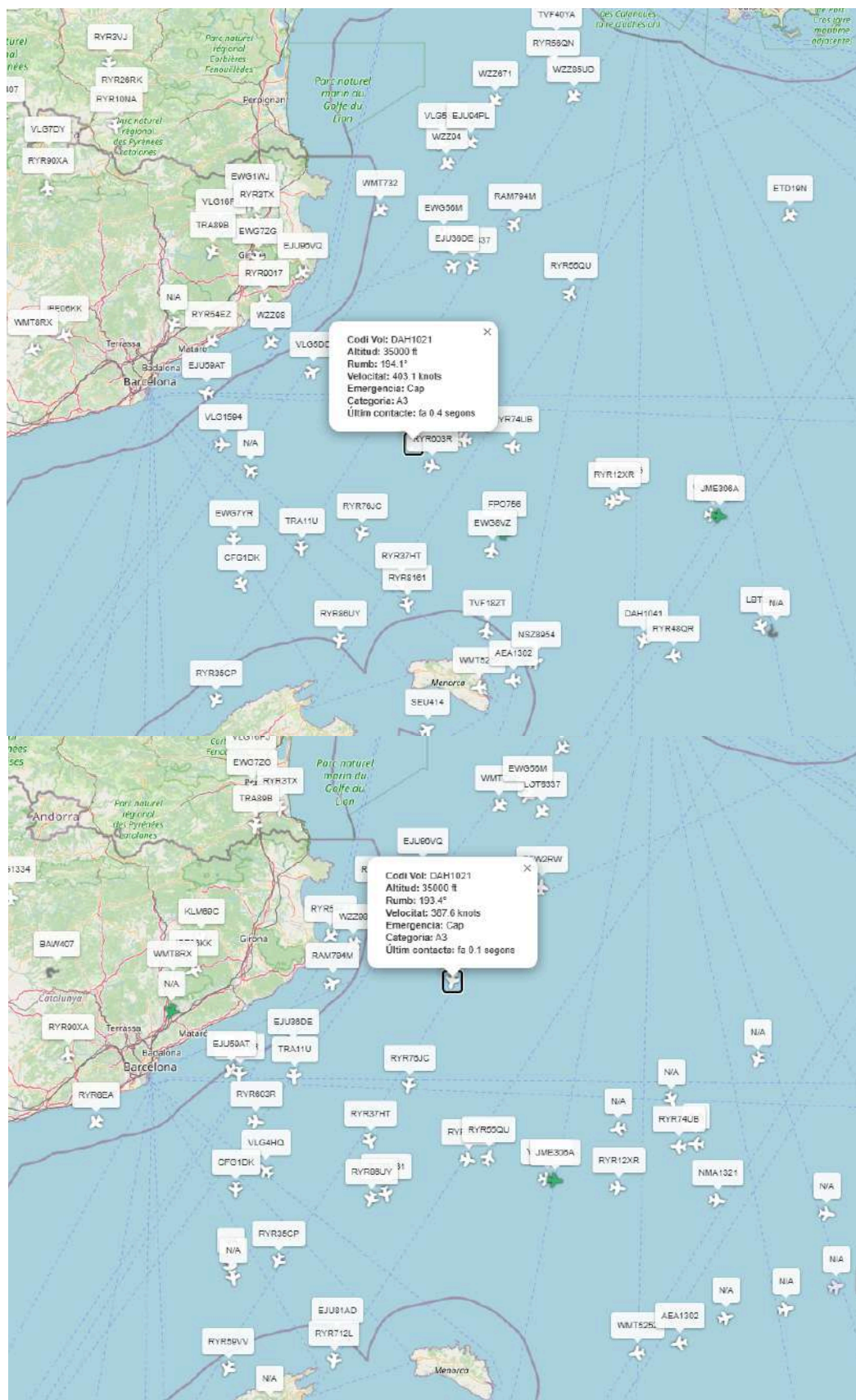
- Un segon codi que s'actualitza cada 3 segons i que llegeix un fitxer JSON amb dades que s'actualitzen en temps real per mostrar els vols nous o actualitzats.

El format és totalment diferent perquè si la versió 1 i 2 estaven fetes amb Python, aquesta té un gran contingut de JavaScript, ja que és un llenguatge més adequat per a actualitzacions dinàmiques al navegador. De fet però, es va traduir part del funcionament que abans estava en codi Python a JavaScript.

En aquest codi el treball que feia el Python ara el fa la llibreria Folium, que procura que tots els vols estiguin en una altra capa JSON diferent (i no a la base) i que procura que l'actualització de la posició dels vols detectats, sigui més eficient. Això no es podria fer fàcilment amb Python, i per això vaig optar per l'ajuda de la llibreria Folium.

A causa del protocol de seguretat dels navegadors, aquest codi no es pot executar directament en un navegador web. Aquest s'ha d'executar en un servidor privat o local, des d'on es poden gestionar correctament les actualitzacions i l'accés als fitxers.

Aquesta és una imatge de la pàgina web que surt per pantalla. La diferència entre la primera i la segona imatge és de 2 minuts per poder apreciar el moviment.



Figures 52 i 53: Captures de la tercera versió de l'app amb un interval de 2 minuts de diferència.

4. Quarta i cinquena versió

Les versions quarta i cinquena parteixen de la mateixa base tècnica establerta a la tercera versió, però afegeixen noves funcionalitats amb l'objectiu de millorar la visualització i l'anàlisi dels vols detectats.

Les dues principals millores introduïdes són:

- La implementació de línies de trajecte per mostrar visualment la ruta que segueix cada avió.
- La incorporació de dues API externes, abans esmentades.

L'API per obtenir imatges de les aeronaus (Planespotters.net) va funcionar correctament en la seva versió gratuïta. En canvi, l'API d'OpenSky per obtenir informació detallada dels vols, va donar problemes de connexió.

Durant les proves, es va detectar l'error 401 que significa no autoritzat. Es van verificar les credencials, que eren les correctes. Per tant, tot indicava que hi havia un problema de l'API gratuïta o de la documentació d'aquesta.

Per intentar resoldre el problema, es va canviar l'API gratuïta per una altra, però no sempre funcionava i de vegades, les dades necessàries que es volien mostrar, no eren proporcionades. Això va provocar que en alguns casos es podia veure la trajectòria completa del vol, mentre que en d'altres apareixia com N/D, significant que la informació no està a la base de dades o no ha estat proporcionada correctament.

Finalment, sense cap altra opció gratuïta disponible, em vaig haver de quedar amb aquesta.

El funcionament de les API és analitzar els avions que apareixen nous, que no tenen foto o ruta, i es fa una consulta. Segons la resposta de la consulta, s'obté la informació que es necessita i s'afegeix a una *memòria cache*.

Tot i que la cinquena versió és la definitiva per aquest TDR, en un futur tinc planejat fer més millores d'aquest i invertir en APIS de pagament on aquests problemes no s'efectuarien.

L'única diferència entre la quarta i la cinquena versió és l'optimització del codi. En la cinquena versió, considerada la versió final del projecte, es va millorar l'estructura interna del codi per fer-lo més clar i eficient, mantenint exactament les mateixes funcionalitats que la quarta versió.

Tot seguit, es mostra la versió final i les imatges amb 2 min de diferència.

Codi creador del mapa:

```
import folium
from branca.element import Element
import re

m = folium.Map(location=[42.11385, 2.77369], zoom_start=8)

nom_mapa_js = m.get_name()

actualitzador_js = f'''
    document.addEventListener('DOMContentLoaded', function() {{
//Configuració Inicial
        var capaAvions = L.layerGroup().addTo({nom_mapa_js});
        var marcadorsActuals = {{}};
        var trajectes = {{}};

// Funció Principal de Dibuix
        function dibuixaAeronaus(dades) {{
            if (!dades.aircraft) return;
            var avionsRebut = {{}};
            dades.aircraft.forEach(function(avio) {{
                const id = avio.hex;
                if (!id) return;
                avionsRebut[id] = true;
                const lat = avio.lat;
                const lon = avio.lon;
                const track = avio.track;
                const categoria = avio.category;

                if (lat == null || lon == null || track == null) {{
                    return;
                }}

                let forma = 'question';
                let color = 'gray';
                if (categoria === 'B1' || categoria === 'A7') {{
                    forma = 'helicopter';
                    color = 'Orange';
                }} else if (categoria && categoria.startsWith('A')) {{
                    forma = 'plane';
                    if (categoria === 'A1') color = 'Lavender';
                    else if (categoria === 'A2') color = 'MediumSeaGreen';
                    else if (categoria === 'A6') color = 'Gray';
                    else color = 'White';
                }}
            }}
        }}
    }}
```

```

        if (avio.emergency && avio.emergency !== 'none') {{
            color = 'Red';
        }}

        const icona = L.divIcon({{
            className: 'custom-div-icon',
            html: `<div style="font-size: 16px; text-shadow: 0 0 3px
#000;">
                <i class="fa fa-${{forma}}" style="color:
${{color}}; transform: rotate(${{track} - 90}deg);"></i>
                </div>`,
            iconSize: [20, 20],
            iconAnchor: [10, 10]
        }});

        const vol = avio.flight || "N/A";
        const altitud = avio.alt_baro || "N/A";
        const velocitat = avio.gs || "N/A";
        const text_emerg = (avio.emergency && avio.emergency !==
'none') ? avio.emergency : "Cap";
        const bloc_foto = avio.foto_url ? `<br>` : '';
        const contingut_popup = `
            ${{bloc_foto}}
            <b>Codi Vol:</b> ${{vol.trim()}}<br>
            <b>Aerolínia:</b> ${{avio.aerolinia || 'N/D'}}<br>
            <b>Ruta:</b> ${{avio.sortida || '?'}} → ${{avio.arribada
|| '?'}}<br>

            <hr>
            <b>Altitud:</b> ${{altitud}} ft<br>
            <b>Rumb:</b> ${{track}}°<br>
            <b>Velocitat:</b> ${{velocitat}} knots<br>
            <b>Emergencia:</b> ${{text_emerg}}<br>
            <b>Categoria:</b> ${{categoria || 'N/A'}}<br>
            <b>Últim contacte:</b> fa ${{avio.seen}} segons
        `;

        if (marcadorsActuals[id]) {{
            var marcador = marcadorsActuals[id];
            marcador.setLatLng([lat, lon]);
            marcador.setIcon(icona);
            marcador.getPopup().setContent(contingut_popup);
            marcador.getTooltip().setContent(vol);
            trajectes[id].addLatLng([lat, lon]);
        }} else {{
            var nouMarcador = L.marker([lat, lon], {{ icon: icona }})
                .bindPopup(contingut_popup)

```

```

        .bindTooltip(vol, {{ permanent: true, direction:
'top', offset: [0, -10], className: 'flight-label' }})
        .addTo(capaAvions);
        marcadorsActuals[id] = nouMarcador;
        var novaLinia = L.polyline([[lat, lon]], {{color:
'#00FFFF', weight: 2}}).addTo(capaAvions);
        trajectes[id] = novaLinia;
    }}
    });

    for (const id in marcadorsActuals) {{
        if (!avionsRebuta[id]) {{
            capaAvions.removeLayer(marcadorsActuals[id]);
            delete marcadorsActuals[id];
            if (trajectes[id]) {{
                capaAvions.removeLayer(trajectes[id]);
                delete trajectes[id];
            }}
        }}
    }}
    }}

//Motor d'Actualització
function actualitzaMapa() {{
    // Usar XMLHttpRequest en lloc de fetch per compatibilitat amb
file://
    var xhr = new XMLHttpRequest();
    xhr.open('GET', 'aircraft_act.json', true);
    xhr.onreadystatechange = function() {{
        if (xhr.readyState === 4) {{
            if (xhr.status === 200 || xhr.status === 0) {{ // status
0 per file://
                try {{
                    var dades = JSON.parse(xhr.responseText);
                    dibuixaAeronaus(dades);
                }} catch (e) {{
                    console.error("Error al parsejar JSON:", e);
                }}
            }} else {{
                console.error("Error al carregar aircraft_act.json");
            }}
        }}
    }}
    xhr.send();
}}
window.setInterval(actualitzaMapa, 5000);
actualitzaMapa();
}});

```

```
'''
# Guardar el mapa base
m.save("webavions.html")

# Llegir l'HTML generat i inserir el nostre script just després del mapa
with open("webavions.html", "r", encoding="utf-8") as f:
    contingut_html = f.read()

# Buscar on acaba el div del mapa i inserir el nostre script
div_pattern = r'(<div class="folium-map" [>]*></div>)'
script_complet = f'''    <script>
        // Esperar que el mapa s'hagi creat abans d'executar el nostre codi
        setTimeout(function() {{
{actualitzador_js.replace("document.addEventListener('DOMContentLoaded',",
function() {{", "").rstrip().rstrip(")}");").strip()}
        }}, 100);
    </script>'''

# Inserir el script després del div del mapa
contingut_html = re.sub(div_pattern, r'\1\n' + script_complet,
contingut_html)

# Escriure l'HTML final
with open("webavions.html", "w", encoding="utf-8") as f:
    f.write(contingut_html)

# Importar re al principi del fitxer
import re

print("MAPA FINAL CREAT EN 'webavions.html'")
print("Recorda executar 'actualizador_datos.py' en una altra terminal.")
'''
```

Codi actualitzador del mapa:

```
import requests
import json
import time

#Configuració
url_dades = "http://192.168.1.25:8080/data/aircraft.json"
fitxer_sortida = "aircraft_act.json"
interval = 5

#Memòria Cache
cache_rutes = {}
cache_fotos = {}
```

```

print("Iniciant actualitzador enriquit (amb ADS-B Exchange) (Ctrl+C PER
PARAR)")

#Bucle Principal
while True:
    try:
        # 1. Obtenir dades de l'antena local
        resposta_local = requests.get(url_dades, timeout=3)
        resposta_local.raise_for_status()
        dades_locals = resposta_local.json()

        aeronaus_enriquides = []

        # 2. Enriquir dades per a cada aeronau
        for avio in dades_locals.get('aircraft', []):
            hex_code = avio.get('hex')
            if not hex_code:
                continue

            # Consultar ruta a ADS-B Exchange (si no està a la cache)
            if hex_code not in cache_rutes:
                try:
                    url_adsbx =
f"https://api.adsb.lol/v2/icao/{hex_code.lower()}"
                    resposta_adsbx = requests.get(url_adsbx, timeout=5)
                    resposta_adsbx.raise_for_status()
                    dades_adsbx = resposta_adsbx.json()

                    # Comprovem si la resposta té informació útil
                    if dades_adsbx.get('ac') and dades_adsbx['ac']:
                        info_vol = dades_adsbx['ac'][0]
                        cache_rutes[hex_code] = {
                            "sortida": info_vol.get('from', 'N/D').split('
')[0], # Agafa només el codi ICAO
                            "arribada": info_vol.get('to', 'N/D').split('
')[0],
                            "aerolinia": info_vol.get('flight',
'N/D').strip()[:3]
                        }
                    else:
                        cache_rutes[hex_code] = {"sortida": "N/D",
"arribada": "N/D", "aerolinia": "N/D"}
                except requests.exceptions.RequestException:
                    # Si hi ha un error de connexió, no guardem res per poder
reintentar

                    pass

            # Consultar foto a Planespotters (si no està a la cache)

```

```

        if hex_code not in cache_fotos:
            try:
                url_foto = f"https://api.planespotters.net/pub/photos/hex/{hex_code}"
                resposta_foto = requests.get(url_foto, timeout=5)
                dades_foto = resposta_foto.json()
                if dades_foto.get('photos'):
                    cache_fotos[hex_code] = dades_foto['photos'][0]['thumbnail_large']['src']
                else:
                    cache_fotos[hex_code] = None
            except (requests.exceptions.RequestException, json.JSONDecodeError):
                cache_fotos[hex_code] = None

        # 3. Afegir dades enriquides a l'avió
        if hex_code in cache_rutes:
            avio.update(cache_rutes[hex_code])
        if hex_code in cache_fotos:
            avio['foto_url'] = cache_fotos[hex_code]
        aeronaus_enriquides.append(avio)

    dades_locals['aircraft'] = aeronaus_enriquides

    # 4. Guardar el fitxer JSON final
    with open(fitxer_sortida, 'w') as f:
        json.dump(dades_locals, f)

    hora_act = time.strftime("%H:%M:%S")
    num_avions = len(aeronaus_enriquides)
    print(f"[{hora_act}] Dades enriquides per a {num_avions} aeronaus.")

except requests.exceptions.RequestException as e:
    print(f"Error en contactar amb el receptor local: {e}")

time.sleep(interval)

```

Imatges del programa final:

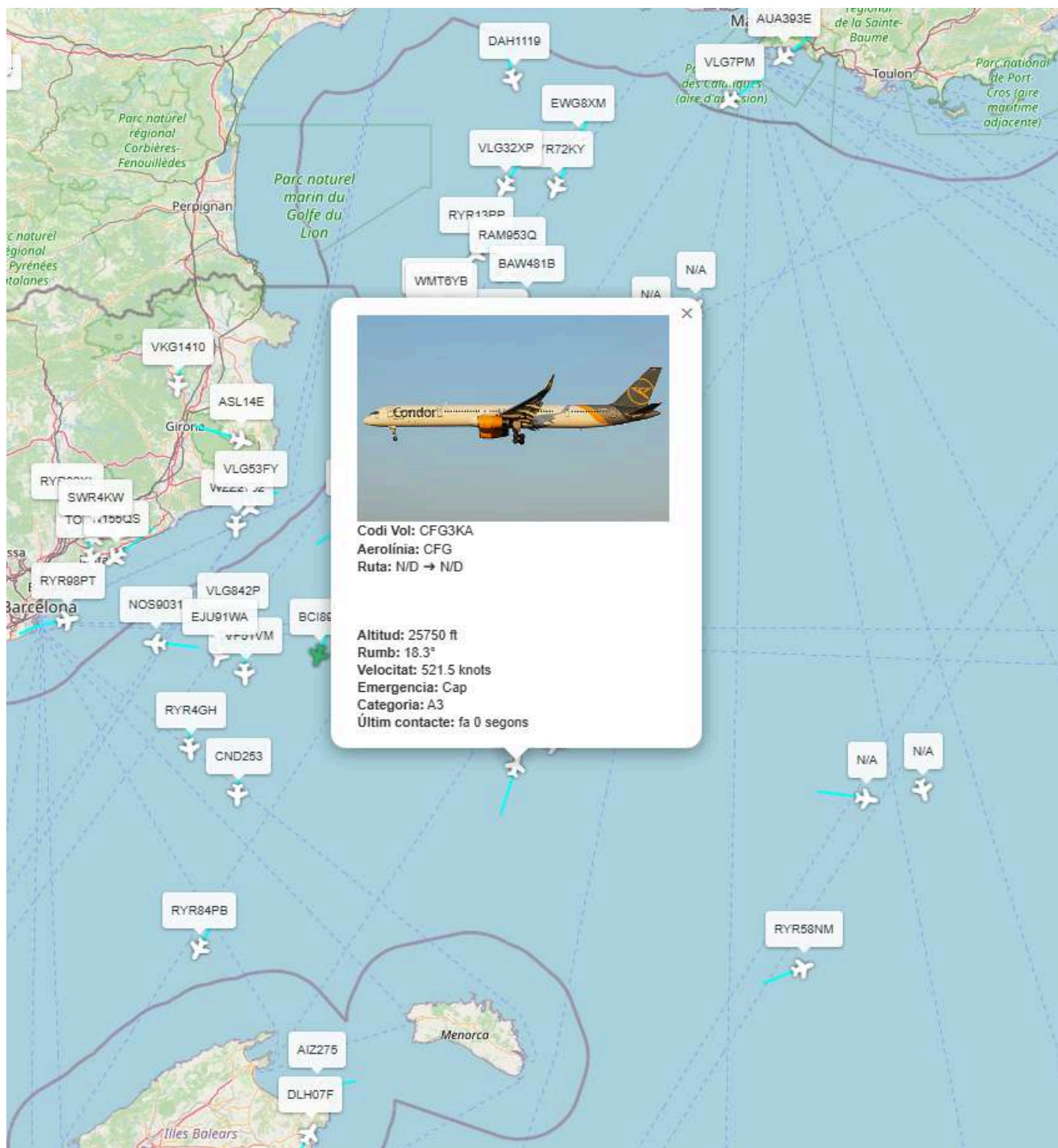


Figura 54: Captura número 1 de l'aplicació final.

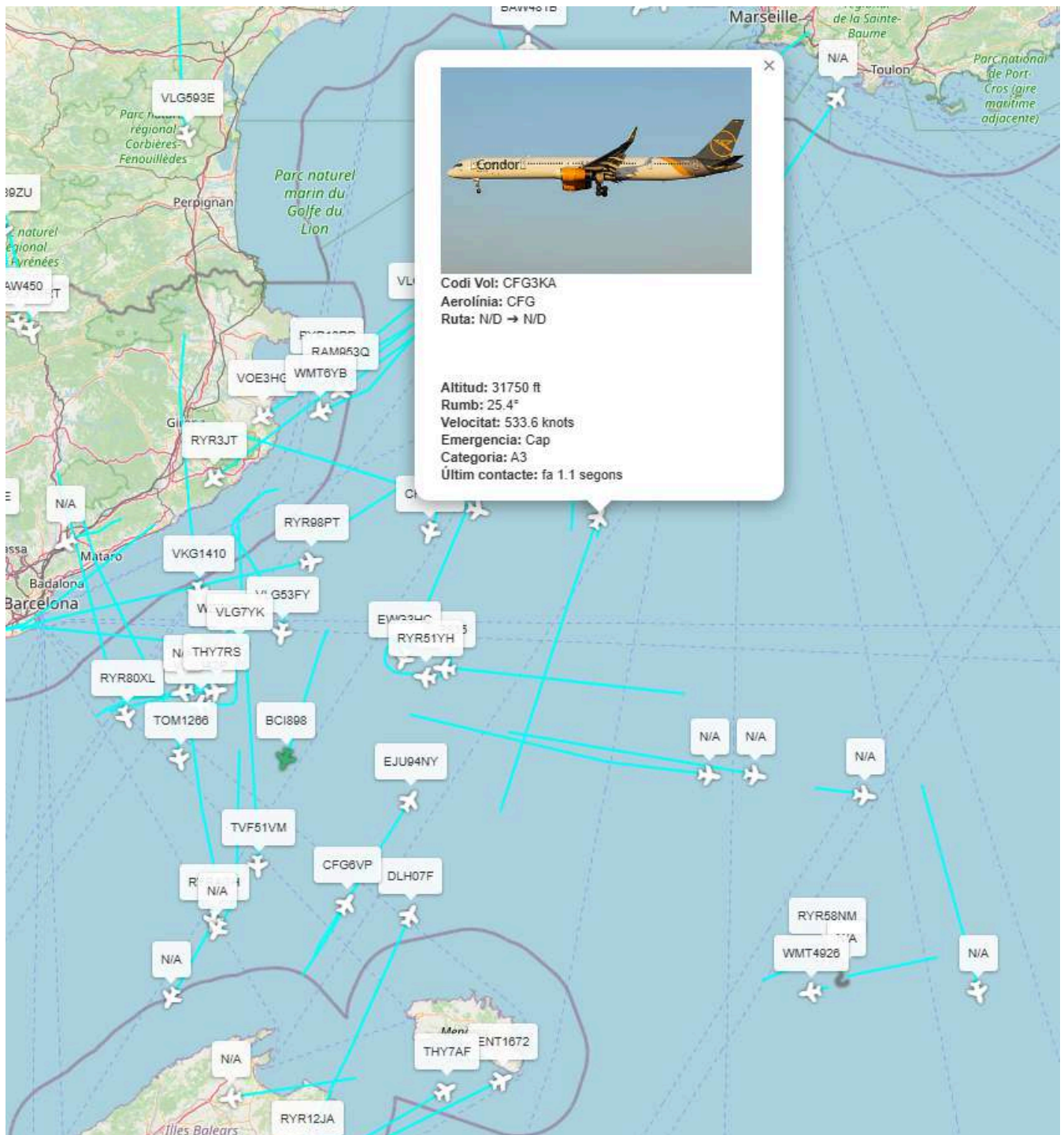
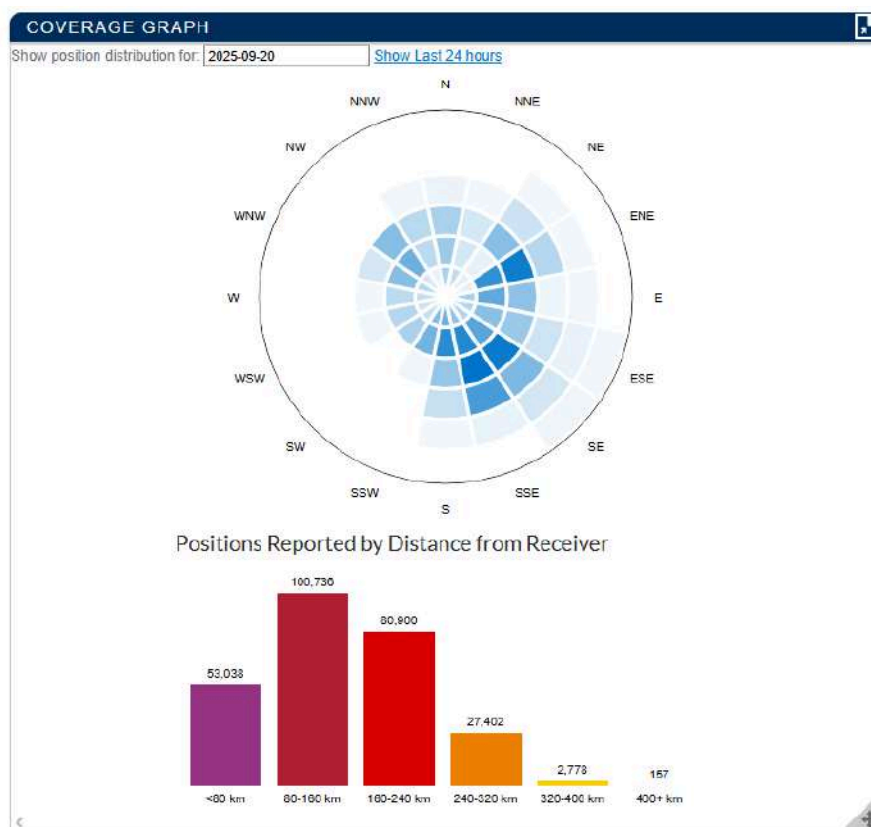


Figura 55: Captura número 2 de l'aplicació final feta amb 2 minuts de diferència.

1.3 Anàlisi de les dades

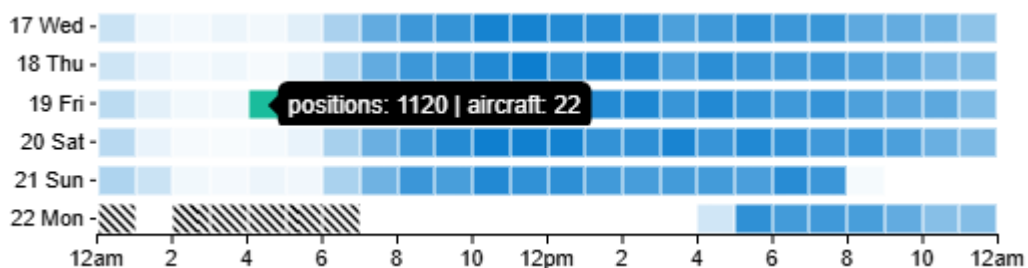
Les aplicacions i els programes instal·lats pel processament i la gestió de les dades, també proporcionen gràfics que ens permeten fer anàlisis. En aquest TDR m'agradaria comentar 3 gràfics per entendre el funcionament i eficiència de l'estació.



Figures 56: Captura d'un gràfic proporcionat pel programa de FlightAware.

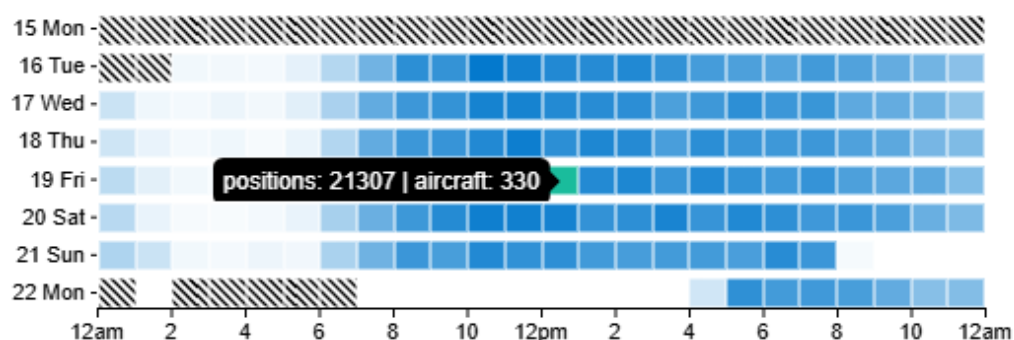
Aquest primer gràfic ens proporciona tots els missatges rebuts sobre la posició de les aeronaus. Com es pot observar en el gràfic circular superior, la procedència de la majoria dels missatges és del nord-est, est i sud. D'aquestes posicions, és d'on venen també els missatges dels vols més llunyans a l'antena. Aquest fet pot ser degut al terreny i a la localització geogràfica de Banyoles. A l'oest de Banyoles tenim un terreny elevat i això causa que els missatges arribin amb més dificultat. Contràriament, a les direccions on arriba la quantitat més gran d'avions, és en direcció al mar on el terreny és més planer. Això també pot ser degut a l'orientació i localització de l'aeroport de Girona. Els vols que surten o arriben a Girona, sovint han de fer maniobres molt a prop d'aquest espai aeri. A més, la zona on es detecten més vols, és un espai molt transitat perquè la majoria de vols procedents de l'aeroport de Barcelona, que continuen les seves rutes internacionals de llarg recorregut a través de la conca Mediterrània o que volen cap a països d'Europa central i del nord, passen per aquest lloc.

En el gràfic de barres inferior, queda reflectit la quantitat de missatges rebuts classificats per distància. És sorprenent poder detectar missatges que rep l'antena, de vols que estan a més de 400 km.



Figures 57: Captura d'un gràfic proporcionat pel programa de FlightAware.

Aquest gràfic és una classificació del trànsit aeri detectat per hores. Agafem l'exemple del divendres 19 de setembre per mostrar la tendència del que passa a les nits. A les nits, veiem un mateix patró: entre la 1 i les 7 de la matinada, la quantitat de vols és baixa, amb un màxim de 22 vols a les 4 del matí del divendres. A partir de les 7, els vols detectats augmenten.



Figures 58: Captura d'un gràfic proporcionat pel programa de FlightAware.

En canvi, a les 12 del migdia del mateix divendres, s'observa que és el moment en què es va detectar un nombre més gran de vols.

1.3.2. Quin és el fabricant d'avions més detectat per l'estació?

Per aconseguir l'historial de dades intern del dump1090 vaig haver d'accedir a la Raspberry Pi i extreure els arxius interns. En fer-ho vaig trobar uns 131 arxius JSON amb dades. Per analitzar totes aquestes dades, vaig optar per utilitzar una intel·ligència artificial per llegir i classificar les dades segons la companyia dels avions (Boeing, Airbus o altres fabricants), segons les hores i per dies. Com que l'antena no proporciona el manufacturer de l'avió directament, la intel·ligència artificial va buscar en els arxius el codi HEX i va utilitzar la mateixa API que fem servir en aquest projecte per cercar quin és el fabricant d'aquell avió. Després

d'obtenir els números per pantalla, vaig haver d'analitzar les dades per crear gràfics amb l'ajuda del Google Sheets (els gràfics es mostren al punt 4 dels annexos). Gràcies a l'anàlisi d'aquestes dades, puc determinar:

- Boeing és el fabricant més detectat per l'estació entre els dies 23 i 24, tenint un 50,23% d'avions detectats el dia 23 i 50,32% d'avions detectats el dia 24. Airbus obtenint un 48,13% el dia 23 i 48,13% el dia 24. Aquest fet concorda amb el que s'ha explicat a la part teòrica (punt 3.4), ja que Airbus i Boeing són els principals fabricants d'aeronaus. No ens ha d'estranyar, doncs, que Airbus i Boeing siguin les aeronaus més detectades per l'antena.

Tot i aquesta tendència, no puc afirmar que Boeing sigui el fabricant més detectat en qualsevol dia de l'any, perquè necessitaria més dades internes que l'antena no proporciona. Malauradament, les dades que proporciona es limiten a dos dies.

CONCLUSIONS

En finalitzar aquest treball puc arribar a la conclusió que he assolit tots els meus objectius:

- Dissenyar i implementar un sistema de detecció de vols mitjançant una antena casolana. Assolit. ✓
- Desenvolupar una interfície gràfica que permeti visualitzar en temps real les dades dels vols detectats (codi de vol, altitud, model d'avió, velocitat, etc.). Assolit. ✓
- Conèixer com es poden enlairar els avions identificant les principals lleis físiques que intervenen en les fases d'enlairament dels avions, en el vol de creuer i en l'aterratge d'aquests. Assolit. ✓
- Analitzar els principis de l'aerodinàmica aplicada a l'aviació i comprendre com aquests permeten el desplaçament i la sustentació de les aeronaus. Assolit. ✓
- Identificar les parts essencials d'un avió, especialment aquelles imprescindibles per garantir un enlairament i un aterratge segurs. Assolit. ✓
- Investigar els models d'avió més populars i més utilitzats, així com els més produïts històricament. Assolit. ✓
- Conèixer els procediments d'emergència aeris que s'apliquen en cas d'incidències durant el vol. Assolit. ✓
- Analitzar el trànsit aeri detectat per una antena casolana, identificant les hores de màxima i mínima activitat. Assolit. ✓
- Explorar el funcionament de les aplicacions de seguiment de vols, i comprendre com es detecten les aeronaus mitjançant sistemes com l'ADS-B i altres tecnologies relacionades. Assolit. ✓

En l'àmbit teòric, he aprofundit el meu coneixement en els principis de l'aerodinàmica, en la tecnologia i en el funcionament de les aeronaus comercials.

L'àmbit pràctic d'aquest TDR ha estat especialment enriquidor, ja que he pogut comprovar que encara que la hipòtesi apuntava a la direcció correcta, al final les dades de l'antena mostren que el rang va ser molt més gran del que s'esperava:

Una antena casolana és capaç de detectar i representar en temps real un gran nombre de vols comercials arribant a rebre dades de vols fins a 400 km de la meva estació. A més, les dades recollides, com el codi de vol, la velocitat, l'altitud o categoria de l'avió, es poden visualitzar de manera clara, a través d'una interfície gràfica personalitzada, i permeten analitzar patrons de trànsit aeri al llarg del dia.

L'estació que he instal·lat, ha superat les meves expectatives i estic molt satisfet d'haver desenvolupat una aplicació funcional per visualitzar aquestes dades en temps real.

L'anàlisi de les dades recollides proporcionades pel programa i la visualització en una pàgina web m'ha permès, a més, identificar provisionalment patrons de trànsit aeri en la meua zona, com la direcció amb més presència de vols, la diferència entre dia i nit o el fabricant més detectat per l'estació. Malauradament, a causa de la configuració i paràmetres del sistema, a part de la manca de temps disponible per fer una anàlisi més profunda, no puc fer una afirmació completa d'aquestes conclusions provisionals i no definitives. Amb més temps i amb més coneixements de programació, podria utilitzar les dades proporcionades per l'antena de diferents maneres. Una possibilitat seria utilitzar conjuntament les dades proporcionades per altres antenes d'altres usuaris, per poder seguir tot el recorregut d'un vol i analitzar-ne els patrons.

Les dificultats en la realització d'aquesta pràctica no van ser poques. A la part teòrica em vaig trobar amb problemes de tecnicismes i de traducció a causa que aquest tema escollit és un camp dominat per la llengua anglesa. També, durant la recerca d'informació, les fonts i les imatges en català eren escasses, i per això al llarg del marc teòric i a la bibliografia, no se'n troben en català sinó que la majoria, estan en anglès.

En començar el marc pràctic d'aquest TDR, tenia moltes idees, però per diferents causes es van haver de descartar. La meua idea inicial era fer una maqueta funcional amb una impressora 3D amb capacitat per ser teledirigida. Però la meua capacitat econòmica no em va permetre portar a terme aquest projecte. Després, vaig pensar en crear una aplicació de mòbil o una pàgina web, i a partir de la variació de diferents paràmetres (com la velocitat relativa, la pressió atmosfèrica,

l'angle d'atac) observar o simular el comportament dels perfils alars. Aquesta pràctica requeria un domini del llenguatge de programació que estava fora del meu abast, de manera que finalment, em vaig decantar per la detecció de vols a través d'una antena.

Aquest ha estat finalment el meu projecte, un repte que m'ha motivat i que he pogut assolir. Tot i això, vaig tenir problemes de logística en la recepció de l'antena, i aquest fet em va causar l'endarreriment en la fase de muntatge i recollida de dades. A l'hora de realitzar les diferents versions em vaig trobar amb què el tipus de projecte que volia desenvolupar, no hi havia prou referències. Per poder superar aquesta dificultat, vaig haver de llegir exhaustivament la documentació de les llibreries i amb l'ajuda d'en Ramon Gallench vaig poder avançar.

Tot i les dificultats que he hagut d'afrontar a l'hora de realitzar aquest projecte, estic molt orgullós del resultat obtingut i del coneixement que he anat adquirint al llarg de la realització d'aquest TDR.

Propostes de millora i de continuació del treball

En un futur, m'agradaria poder continuar fent créixer el meu projecte i avançar més en la meva recerca. Per aquest motiu, considero que els punts on podria aconseguir millors resultats serien:

- Millores en el sistema de recepció de dades i emmagatzematge:
Implementar un sistema d'emmagatzematge de dades històric per períodes més llargs:
 - Implementar un sistema d'aquest tipus permetria:
 1. Analitzar patrons amb períodes més llargs.
 2. Detectar l'impacte d'esdeveniments especials.
 3. Seguir i analitzar patrons de trajectòries i veure per tots els punts que passa.
 4. Confirmar amb certesa quin es el fabricant d'avió més detectat.
- Millores en la visualització i desenvolupament de l'aplicació:

- Amb més coneixements en programació i amb un pressupost més ampli es podria realitzar:
 1. Implementar l'ús d'APIs de pagament per superar les limitacions donades a causa de les gratuïtes. Això ajudaria a aconseguir dades més fiables i completes per tots els vols.
 2. Implementació de filtres i eines d'anàlisi.
 - a. Filtres per aerolínia, categoria, avió, altitud...
 - b. Un "mode historial" conjuntament amb el sistema d'emmagatzematge per accedir a vols des de la pàgina.
 - c. Alertes personalitzades per vols o quan algun avió avisi d'un codi d'emergència, doncs que arribi una notificació.
 - d. Creació d'un mapa de calor per veure les zones més transitades.

AGRAÏMENTS

Vull expressar el meu més sincer agraïment a totes les persones que han fet possible la realització d'aquest treball de recerca.

En especial, m'agradaria reflectir el meu més sincer agraïment a la meva tutora, Dolors Pujol Camps, per la seva paciència, dedicació, interès, guia constant, consells i ajudes valuoses al llarg de tot el procés. La seva ajuda i confiança han estat un pilar fonamental per a mi i ha estat un privilegi comptar amb tu com a tutora per aquest treball.

Així mateix, agraeixo a en Ramon Gallench per la seva inigualable ajuda tècnica en la part pràctica. La qualitat dels seus coneixements, sumada a la seva constant i excel·lent disposició a resoldre dubtes, no només ha facilitat el desenvolupament de l'aplicació, sinó que l'ha fet possible. Gràcies, Ramon, per una col·laboració tan resolutiva i enriquidora.

Finalment, voldria dedicar aquest treball a la meva família. Pel suport incondicional des del primer dia i la comprensió durant les hores que he estat realitzant el projecte.

BIBLIOGRAFIA

1.1 Bibliografía

AeroDataBox. AeroDataBox API Documentation. Sense data. AeroDataBox. Accés <https://doc.aerodatabox.com/>. Consulta: 25/08/2025.

Aerospace Global News. “Boeing’s December 2024 and year-end orders & deliveries.” Aerospace Global News. 09/01/2025. Accés <https://aerospaceglobalnews.com/news/boeings-december-2024-and-year-end-orders-deliveries/>. Consulta: 20/03/2025.

Aircraft Accident Investigation Commission. Aircraft Accident Investigation Report: Japan Air Lines Co., Ltd. Boeing 747 SR-100, JA8119, Gunma Prefecture, Japan, August 12, 1985. 19/06/1987. Ministry of Transport, Japan. Accés https://www.mlit.go.jp/jtsb/eng-air_report/JA8119.pdf. Consulta: 02/04/2025.

Anderson, David F. i Eberhardt, Scott. *Understanding Flight*. 2a ed. Nova York: McGraw-Hill, 2010.

Airbus. Airbus reports 766 commercial aircraft deliveries in 2024. 09/01/2025. Airbus. Accés <https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2025-01-airbus-reports-766-commercial-aircraft-deliveries-in-2024>. Consulta: 20/03/2025.

Aviation Group. ¿Cuáles son las partes más importantes de un avión?. Sense data. Aviation Group. Accés <https://www.aviationgroup.es/actualidad/cuales-son-las-partes-mas-importantes-de-un-avion/>. Consulta: 05/03/2025.

Avion Revue. “Las entregas de Boeing en 2024 cayeron al nivel más bajo desde la pandemia.” Avion Revue. 10/01/2025. Accés <https://www.avionrevue.com/aviacion-comercial/las-entregas-de-boeing-en-2024-cayeron-al-nivel-mas-bajo-desde-la-pandemia/>. Consulta: 21/03/2025.

Avsaf. Comprende el Movimiento de un Avión: ¡Los Tres Ejes Explicados!. Sense data. Avsaf. Accés <https://avsaf.es/post/comprende-el-movimiento-de-un-avion-los-tres-ejes-explicados/>. Consulta: 12/03/2025.

Boeing. 737 MAX Software Updates. Sense data. The Boeing Company. Accès <https://www.boeing.com/commercial/737max/737-max-update/737-max-software-updates>. Consulta: 21/05/2025.

Boeing. Boeing Announces Fourth-Quarter Deliveries. 09/01/2025. The Boeing Company. Accès <https://investors.boeing.com/investors/news/press-release-details/2025/Boeing-Announces-Fourth-Quarter-Deliveries/default.aspx>. Consulta: 20/03/2025.

Boldmethod. How PAPI And VASI Lights Work. Sense data. Boldmethod. Accès <https://www.boldmethod.com/learn-to-fly/systems/how-papi-vasi-lights-work/>. Consulta: 04/06/2025.

Bureau of Enquiry and Analysis for Civil Aviation Safety (BEA). Accident on 25 July 2000 at La Patte d'Oie in Gonesse (95) to the Concorde registered F-BTSC operated by Air France. 16/01/2002. BEA. Accès <https://www.bea.aero/docspa/2000/f-sc000725a/pdf/f-sc000725a.pdf>. Consulta: 23/04/2025.

Cirium. Shaking out the Airbus and Boeing 2024 delivery numbers. 15/01/2025. Cirium. Accès <https://www.cirium.com/thoughtcloud/ascend-consultancy-shaking-out-the-airbus-and-boeing-2024-delivery-numbers/>. Consulta: 20/03/2025.

CITHE. Partes más importantes de una aeronave. Sense data. Centro de Instrucción Técnica de Helicópteros. Accès <https://cithe.es/partes-importantes-avion/>. Consulta: 05/03/2025.

Da Vinci Inventions. Flying Machine. Sense data. Da Vinci Inventions. Accès <https://www.da-vinci-inventions.com/flying-machine>. Consulta: 28/11/2024.

ENAIRE. SACTA. Sense data. ENAIRE. Accès https://www.enaire.es/servicios/atm/sistemas_de_gestion_del_transito_aereo_atm/sacta. Consulta: 25/06/2025.

EUROCONTROL. ATFM Slot Adherence. Sense data. Aviation Intelligence Portal. Accès <https://ansperformance.eu/reference/dataset/atfm-slot-adherence/>. Consulta: 02/07/2025.

Federal Aviation Administration. ASDE-X Briefing. 2004. U.S. Department of Transportation. Accès http://www.faa.gov/air_traffic/flight_info/aeronav/acf/media/Presentations/04-01-ASDE-X_Briefing.pdf. Consulta: 18/06/2025.

Federal Aviation Administration. Lessons Learned From Transport Airplane Accidents: Japan Airlines Flight 123. Sense data. U.S. Department of Transportation. Accés https://www.faa.gov/lessons_learned/transport_airplane/accidents/JA8119. Consulta: 02/04/2025.

Federal Bureau of Investigation. Famous Cases & Criminals: Pan Am 103 Bombing. Sense data. U.S. Department of Justice. Accés <https://www.fbi.gov/history/famous-cases/pan-am-103-bombing>. Consulta: 30/04/2025.

Ferrovial. Qué es la aviación, todo lo que necesitas saber. Sense data. Ferrovial. Accés <https://www.ferrovial.com/es/recursos/aviacion/>. Consulta: 20/11/2024.

FlightAware. PiAware - Build your own ADS-B receiver. Sense data. FlightAware. Accés <https://www.flightaware.com/adsb/piaware/build/>. Consulta: 12/08/2025.

Flightradar24. Flightradar24 Data Regarding Lion Air Flight JT610. 29/10/2018. Flightradar24. Accés <https://www.flightradar24.com/blog/flightradar24-data-regarding-lion-air-flight-jt610/>. Consulta: 21/05/2025.

How Things Fly. Roll, Pitch, and Yaw. Sense data. Smithsonian National Air and Space Museum. Accés <https://howthingsfly.si.edu/flight-dynamics/roll-pitch-and-yaw>. Consulta: 12/03/2025.

Iberia. "Iberia celebra el 95 aniversario de su primer vuelo, antecedente del Puente Aéreo entre Madrid y Barcelona." Grupo Iberia. 14/12/2022. Accés <https://grupo.iberia.es/pressrelease/details/14379>. Consulta: 15/12/2024.

Jagran Josh. List of largest aircraft manufacturers in the world. 2024. Jagran Josh. Accés <https://www.jagranjosh.com/general-knowledge/list-of-largest-aircraft-manufacturers-in-the-world-1820000808-1>. Consulta: 20/03/2025.

L'avionnaire. L'avionnaire, site dédié à l'aviation. 2010-2025. L'avionnaire. Accés <https://www.lavionnaire.fr/>. Consulta: 15/03/2025.

Lahoti, R. C. Report of the Court of Inquiry on Mid-Air Collision between Saudi Arabian Boeing 747 and Kazakhstan IL-76 over Charkhi Dadri on 12th November, 1996. 15/07/1997. Directorate General of Civil Aviation, Government of India. Accés <https://www.baaa-acro.com/sites/default/files/2020-12/HZ-AIH.pdf>. Consulta: 16/04/2025.

Loh, C., & Snelgrove, G. "Why Aircraft Have To Be Evacuated In 90 Seconds For Certification." Simple Flying. 17/09/2022. Accés <https://simpleflying.com/aircraft-90-second-evacuation/>. Consulta: 28/05/2025.

Muñoz Navarro, Miguel Ángel. Principios básicos. Superficies de mando y control. Sense data. Manual de Vuelo. Accés https://www.manualvuelo.es/1pbav/15_supma.html. Consulta: 10/02/2025.

NASA. 120 Years Ago: The First Powered Flight at Kitty Hawk. 15/12/2023. National Aeronautics and Space Administration. Accés <https://www.nasa.gov/history/120-years-ago-the-first-powered-flight-at-kitty-hawk/>. Consulta: 08/01/2025.

NASA. Bernoulli's Principle (Grades 5-8). 2023. National Aeronautics and Space Administration. Accés <https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2023/06/bernoulliprinciple-5-8-02-09-17-508.pdf>. Consulta: 21/02/2025.

NASA. Bernoulli's Principle (Grades K-4). 2023. National Aeronautics and Space Administration. Accés <https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2023/06/bernoullis-principle-k-4-02-09-17-508.pdf>. Consulta: 12/02/2025.

NASA. Foam Wing. 2023. National Aeronautics and Space Administration. Accés <https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2023/06/foam-wing-k-12.pdf>. Consulta: 19/02/2025.

NASA Glenn Research Center. Airplane Parts and Function. Sense data. National Aeronautics and Space Administration. Accés <https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/airplane-parts-function/>. Consulta: 05/03/2025.

NASA Glenn Research Center. Four Forces on the Flyer. 11/12/2023. National Aeronautics and Space Administration. Accés <https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/four-forces-on-the-flyer/>. Consulta: 05/02/2025.

National Commission on Terrorist Attacks Upon the United States. The 9/11 Commission Report. 22/07/2004. U.S. Government. Accés <https://www.ojp.gov/ncjrs/virtual-library/abstracts/911-commission-report-executive-summary>. Consulta: 14/05/2025.

National Transportation Safety Board. Aircraft Accident Report: American Airlines, Inc., DC-10-10, N110AA, Chicago, Illinois, May 25, 1979 (NTSB-AAR-79-17). 21/12/1979. NTSB. Accès

<https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/AAR7917.pdf>.

Consulta: 07/05/2025.

National Transportation Safety Board. Safety Study: Emergency Evacuation of Commercial Airplanes (NTSB/SS-00/01). 27/06/2000. NTSB. Accès <https://www.nts.gov/safety/safety-studies/Documents/SS0001.pdf>. Consulta:

28/05/2025.

Otto-Lilienthal-Museum. The aircraft of Otto Lilienthal. Sense data. Otto-Lilienthal-Museum. Accès https://lilienthal-museum.de/olma/s_213.html.

Consulta: 18/12/2024.

PBS. Lindbergh's Transatlantic Flight: New York to Paris. Sense data. American Experience. Accès

<https://www.pbs.org/wgbh/americalexperience/features/lindbergh-transatlantic-flight-new-york-paris/>. Consulta: 22/01/2025.

Python Software Foundation. Python 3.x Documentation. Sense data. Python Software Foundation. Accès <https://www.python.org/doc/>. Consulta: 18/08/2025.

Python Visualization team. Folium Documentation. Sense data. GitHub. Accès <https://python-visualization.github.io/folium/>. Consulta: 20/08/2025.

Raspberry Pi Foundation. Build your own Raspberry Pi flight tracker. Sense data. Raspberry Pi Foundation. Accès <https://www.raspberrypi.com/tutorials/build-your-own-raspberry-pi-flight-tracker/>.

Consulta: 10/08/2025.

RTVE. "La tragedia de Los Rodeos: 40 años del mayor accidente de la historia de la aviación civil." RTVE.es. 27/03/2017. Accès <https://www.rtve.es/noticias/20170327/tragedia-rodeos-40-anos-del-mayor-accidente-historia-aviacion-civil/1511407.shtml>. Consulta: 09/04/2025.

San Diego Air and Space Museum. Leonardo Da Vinci Ornithopter (mock up). Sense data. San Diego Air and Space Museum. Accès <https://sandiegoairandspace.org/collection/item/leonardo-da-vinci-ornithopter-mock-up>. Consulta: 28/11/2024.

Satsignal.eu. Dump1090 on the Raspberry Pi. Sense data. Satsignal.eu. Accès <https://www.satsignal.eu/raspberry-pi/dump1090.html>. Consulta: 15/08/2025.

Schäfer, M., et al. Bringing Up OpenSky: A Large-scale ADS-B Sensor Network for Research. Abril 2014. IEEE/ACM International Symposium on Information Processing in Sensor Networks. Accés <https://openskynetwork.github.io/opensky-api/>. Consulta: 22/08/2025.

Serebrinsky, C. “Creó el globo aerostático y logró que el hombre volara por primera vez.” Infobae. 25/06/2025. Accés <https://www.infobae.com/sociedad/2025/06/26/creo-el-globo-aerostatico-y-logro-que-el-hombre-volara-por-primera-vez-joseph-michel-montgolfier-un-inventor-que-hizo-historia/>. Consulta: 05/12/2024.

SKYbrary. Airport Surface Detection Equipment, Model X (ASDE-X). Sense data. SKYbrary Aviation Safety. Accés <https://skybrary.aero/articles/airport-surface-detection-equipment-model-x-asde-x>. Consulta: 18/06/2025.

SKYbrary. Instrument Landing System (ILS). Sense data. SKYbrary Aviation Safety. Accés <https://skybrary.aero/articles/instrument-landing-system-ils>. Consulta: 11/06/2025.

SKYbrary. Maneuvering Characteristics Augmentation System (MCAS). Sense data. SKYbrary Aviation Safety. Accés <https://skybrary.aero/articles/maneuvering-characteristics-augmentation-system-mcas>. Consulta: 21/05/2025.

Subsecretaría de Aviación Civil (España). KLM, B-747, PH-BUF and Pan Am B-747 N736 collision at Tenerife Airport Spain on 27 March 1977. Octubre 1978. ICAO. Accés https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2022-11/Spanish_Findings_0.pdf. Consulta: 09/04/2025.

Thermofluids. Coanda Effect. Sense data. S & C Thermofluids Ltd. Accés <https://www.thermofluids.co.uk/effect.php>. Consulta: 19/02/2025.

Viquipèdia. Abbás Ibn Firnás. Wikimedia Foundation. 10/09/2024. Viquipèdia. Accés https://es.wikipedia.org/wiki/Abb%C3%A1s_Ibn_Firn%C3%A1s. Consulta: 25/11/2024.

Viquipèdia. Blériot XI. Wikimedia Foundation. 23/08/2025. Viquipèdia. Accés https://es.wikipedia.org/wiki/Bl%C3%A9riot_XI. Consulta: 15/01/2025.

Viquipèdia. Henri Giffard. Wikimedia Foundation. 18/07/2024. Viquipèdia. Accés https://en.wikipedia.org/wiki/Henri_Giffard. Consulta: 11/12/2024.

1.2 Bibliografia fotogràfica

Portada: <https://aviation.stackexchange.com/questions/88929/what-type-of-chart-is-displayed-on-atc-radar-screens>

Figura 1: Viquipèdia. (2024). Extret de <https://es.wikipedia.org/wiki/Abbás Ibn Firnás>

Figura 2: Ciencias del Renacimiento. (2011). Extret de <https://cienciasdelrenacimiento.wordpress.com/2011/11/16/el-sueno-de-volar-de-leonardo>

Figura 3: Weekend Perfil. (2020). Extret de <https://weekend.perfil.com/noticias/informativo/a-117-anos-de-la-historica-hazana-aerea-de-los-hermanos-wright.phtml>

Figura 4: PBS. (s.d.). Extret de <https://www.pbs.org/wgbh/americanexperience/features/lindbergh-transatlantic-flight-new-york-paris>

Figura 5: Viquipèdia. (2023). Extret de <https://es.wikipedia.org/wiki/Coandă-1910>

Figura 6: Viquipèdia. (2024). Extret de https://es.wikipedia.org/wiki/Heinkel_He_178

Figura 7: Wikipedia. (2024). Extret de https://en.wikipedia.org/wiki/Air_France_Flight_4590

Figura 8: Taller3UFM. (2015). Extret de <https://taller3ufm.wordpress.com/2015/02/25/clase-sobre-aviacion>

Figura 9: Anderson, D. F. (s.d.). Extret de llibre Understanding Flight.

Figura 10: L'avionnaire. (2025). Extret de <https://www.lavionnaire.fr/EspAerodinamica.php>

Figura 11: HyperPhysics. (s.d.). Extret de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/pber.html>

Figura 12: World Aviation ATO. (2023). Extret de <https://worldaviationato.com/es/principio-de-bernoulli>

Figura 13: Academia Guillermo Soler. (s.d.). Extret de <https://www.academiaguillermosoler.es/efecto-coanda>

Figura 14: Warplanes. (s.d.). Extret de https://warplanes.tripod.com/p3_3.html

Figura 15: Elentir. (2019). Extret de <https://www.outono.net/elentir/2019/10/13/asi-funcionan-las-alas-de-un-airbus-a-320-neo-durante-las-fases-de-aproximacion-y-aterrizaje>

Figura 16: Aviation Group. (s.d.). Extret de <https://www.aviationgroup.es/actualidad/como-funcionan-turbinas-aviones>

Figura 17: One Air. (s.d.). Extret de <https://www.oneair.es/tren-de-aterrizaje-aviones>

Figura 18: Viquipèdia. (2024). Extret de https://es.wikipedia.org/wiki/Estabilizador_horizontal

Figura 19: Muñoz Navarro, M. A. (s.d.). Extret de https://www.manualvuelo.es/1pbav/15_supma.html

Figura 20: Air Horizont. (s.d.). Extret de <https://airhorizont.com/que-son-los-flaps-y-para-que-sirven>

Figura 21: Viquipèdia. (2023). Extret de https://es.wikipedia.org/wiki/Control_de_motores_en_aviones

Figura 22: EAS Barcelona. (s.d.). Extret de easbcn.com/cabina-de-vuelo-partes-y-componentes

Figura 23: Fly News. (2024). Extret de <https://fly-news.es/aviacion-comercial/aviones/nuevos-sistemas-comunicacion-digital-es-airbus-a320>

Figura 24: CienciaEs. (2009). Extret de <https://cienciaes.com/ciencianuestra/2009/06/21/-por-qu-son-necesarias-las-m-scara-s-de-ox-genio-en-un-avi-n-en-caso-de-accidente>

Figura 25: CESDA. (2013). Extret de <https://blog.cesda.com/2013/07/09/el-sistema-electrico-del-dreamliner-787>

Figura 26: Patentados.com. (1998). Extret de <https://patentados.com/1998/estructura-para-aviones>

Figura 27: L'avionnaire. (2025). Extret de <https://www.lavionnaire.fr/EspControlvuelo.php>

Figura 28: Viquipèdia. (2024). Extret de https://es.wikipedia.org/wiki/Estabilizador_horizontal

Figura 29: Take Off Briefing. (s.d.). Extret de <https://takeoffbriefing.com/mandos-de-vuelo-y-superficies-de-control>

Figura 30: Vox. (2020). Extret de <https://www.youtube.com/watch?v=H2tuKiiznsY>

Figura 31: Vox. (2020). Extret de <https://www.youtube.com/watch?v=H2tuKiiznsY>

- Figura 32: Flightradar24. (2018). Extret de <https://www.flightradar24.com/blog/flight-tracking-news/major-incident/flightradar24-data-regarding-lion-air-flight-jt610>
- Figura 33: Aviation Stack Exchange. (2020). Extret de <https://aviation.stackexchange.com/questions/70961/can-the-overwing-exit-slide-be-used-when-ditching-in-an-a320>
- Figura 34: ATPL Questions. (2023). Extret de <https://www.facebook.com/atplquestions/posts/-runway-lighting-systems-runway-and-approach-lighting-systems-ensure-safe-landin/1006983337977176>
- Figura 35: Infinite Flight Community. (2020). Extret de <https://community.infiniteflight.com/t/papi-lights-question/484853/2>
- Figura 36: Dauntless Software. (s.d.). Extret de <https://www.dauntless-soft.com/PRODUCTS/Freebies/Library/books/FLT/Chapter7/VisualApproachSlopeIndicator.htm>
- Figura 37: Flight Sim Navigation. (2020). Extret de <https://flightsimnavigation.wordpress.com/2020/06/17/24-instrument-landing-system-is>
- Figura 38: FAA. (2024). Extret de https://www.faa.gov/air_traffic/technology/asr-11
- Figura 39: Flightradar24. (2023). Extret de <https://www.flightradar24.com/blog/inside-flightradar24/how-the-flightradar24-receive-r-application-process-works>
- Figura 40: FlightAware. (s.d.). Extret de <https://es.flightaware.com/adsb/flightfeeder>
- Figura 41: Raspberry Pi Foundation. (s.d.). Extret de <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b>
- Figura 42: Jetvision. (s.d.). Extret de <https://webshop.jetvision.de/en/product/67020/?v=12470fe406d4>
- Figura 43: AntenasGSM. (s.d.). Extret de <https://antenasgsm.com/tienda/productos/cable-rg-58-15-metros>
- Figura 44: AirNav RadarBox. (2024). Extret de <https://radarbox24.myshopify.com/products/airnav-ads-b-flightstick-dongle-ads-b-reciever>
- Figura 45: Elaboració pròpia.
- Figura 46: Elaboració pròpia.
- Figura 47: Elaboració pròpia.

Figura 48: Elaboració pròpia.

Figura 49: Elaboració pròpia.

Figura 50: Elaboració pròpia.

Figura 51: Elaboració pròpia.

Figura 52: Elaboració pròpia.

Figura 53: Elaboració pròpia.

Figura 54: Elaboració pròpia.

Figura 55: Elaboració pròpia.

Figura 56: FlightAware. (s.d.). Extret de <https://www.flightaware.com/es-ES>

Figura 57: FlightAware. (s.d.). Extret de <https://www.flightaware.com/es-ES>

Figura 58: FlightAware. (s.d.). Extret de <https://www.flightaware.com/es-ES>

Figura 59: Elaboració pròpia.

Figura 60: Elaboració pròpia.

Figura 61: Elaboració pròpia.

Figura 62: NASA. (s.d.). Extret de https://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/problems/Lorri/Design_Airfoil_int.htm

Figura 63: NASA. (2021). Extret de <https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/bga-simulations/>

ANNEXOS

1. Visita a l'aeroport i torre de control de Girona Costa-Brava (GRO/LEGE)

El dia 6 d'agost de 2025, vaig fer una visita a l'Aeroport de Girona i a la seva torre de control. Després d'uns quants mesos trucant i enviant correus, he tingut la possibilitat de realitzar-la aquesta data. En primer lloc, abans d'esmentar tot el que vaig veure i preguntar, volia comentar el meravellós tracte per part dels treballadors, que he rebut durant la visita. Ha estat una experiència inoblidable.

En arribar al punt de trobada, ens vam trobar amb l'Agustin i un company seu i vam anar en cotxe fins a les portes on accedeixen els vehicles. Els vehicles que poden entrar dintre, han de tenir una identificació, relacionant el vehicle a un treballador o a l'aeroport. Vam haver de baixar del cotxe i passar per un control de seguretat. Finalment, vam poder passar i entrar dintre la torre.

1.1 Sistema de la torre

A l'interior de la torre de control, totes les pantalles i sistemes essencials estan duplicats o fins i tot triplicats, per garantir el funcionament continu en cas d'avaría o per permetre que diversos treballadors els utilitzin alhora si cal.

A l'aeroport de Girona, la gestió del trànsit aeri és més senzilla que en aeroports més grans. Normalment, hi ha només una persona encarregada de controlar els avions que estan a terra, els que es preparen per enlairar-se i els que estan a punt d'aterrar. En canvi, en aeroports més grans, com ara el del Prat, hi poden haver fins a vuit controladors treballant simultàniament, cadascun amb una funció específica (per exemple, un per als enlairaments, un altre per als aterratges, etc.).

Com que l'aeroport de Girona és petit, el controlador també s'encarrega de supervisar un espai aeri designat, que es pot imaginar com un cub tridimensional. Aquest espai s'estén des del nord de Barcelona fins a la frontera amb França, amb una alçada d'uns 6.500 peus. En les imatges següents, es pot veure una representació d'aquest espai des d'una vista aèria (sense perspectiva vertical).

Tots els avions que entren en aquest espai aeri han d'estar equipats amb un transponedor aeronàutic, un dispositiu que rep els senyals de ràdio de les antenes i envia informació rellevant com la matrícula de l'avió, el vol que està fent i altres dades necessàries per al control del trànsit.

1. 1. 1. Equipament i sistemes del controlador

L'estació de treball d'un controlador aeri, compta amb diversos sistemes que permeten gestionar el trànsit amb seguretat i eficàcia:

1. **Dues pantalles radar**, on es visualitzen tots els avions presents dins l'espai aeri. (1)

2. **Dos sistemes meteorològics**, que ofereixen informació detallada sobre les condicions climàtiques. (2)
3. **Un sistema de comunicació per ràdio**, per contactar amb pilots i altres torres en diferents freqüències. (3)
4. **Un sistema físic de coordinació de vols**, que mostra i categoritza els vols que estan arribant, sortint o estacionats a l'aeroport. En aquest sistema, els vols verds són els que estan a punt d'enlairar-se, i els vermells, els que han d'aterrar. (4)

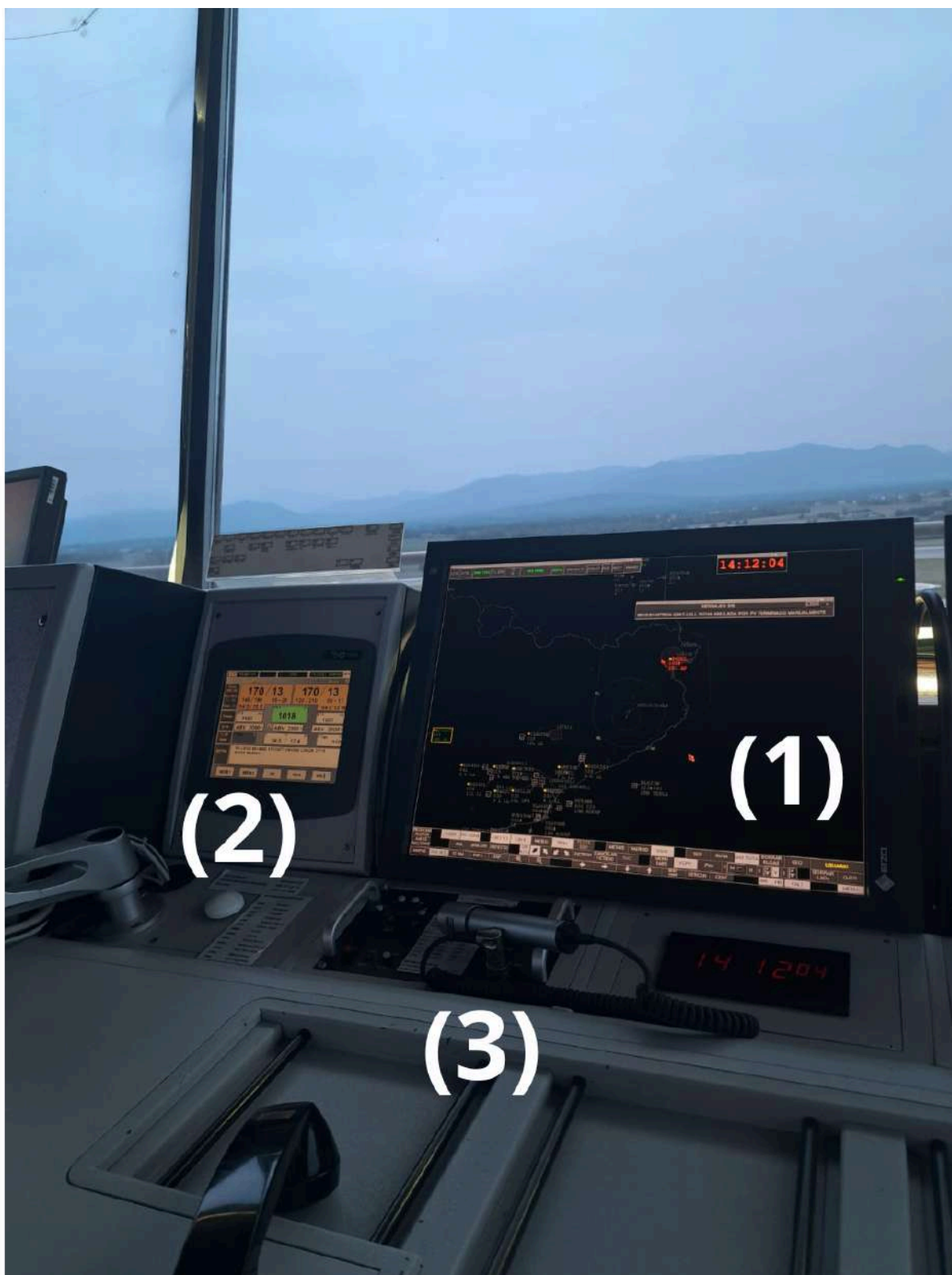


Figura 59: Imatge on es pot visualitzar l'equipament.

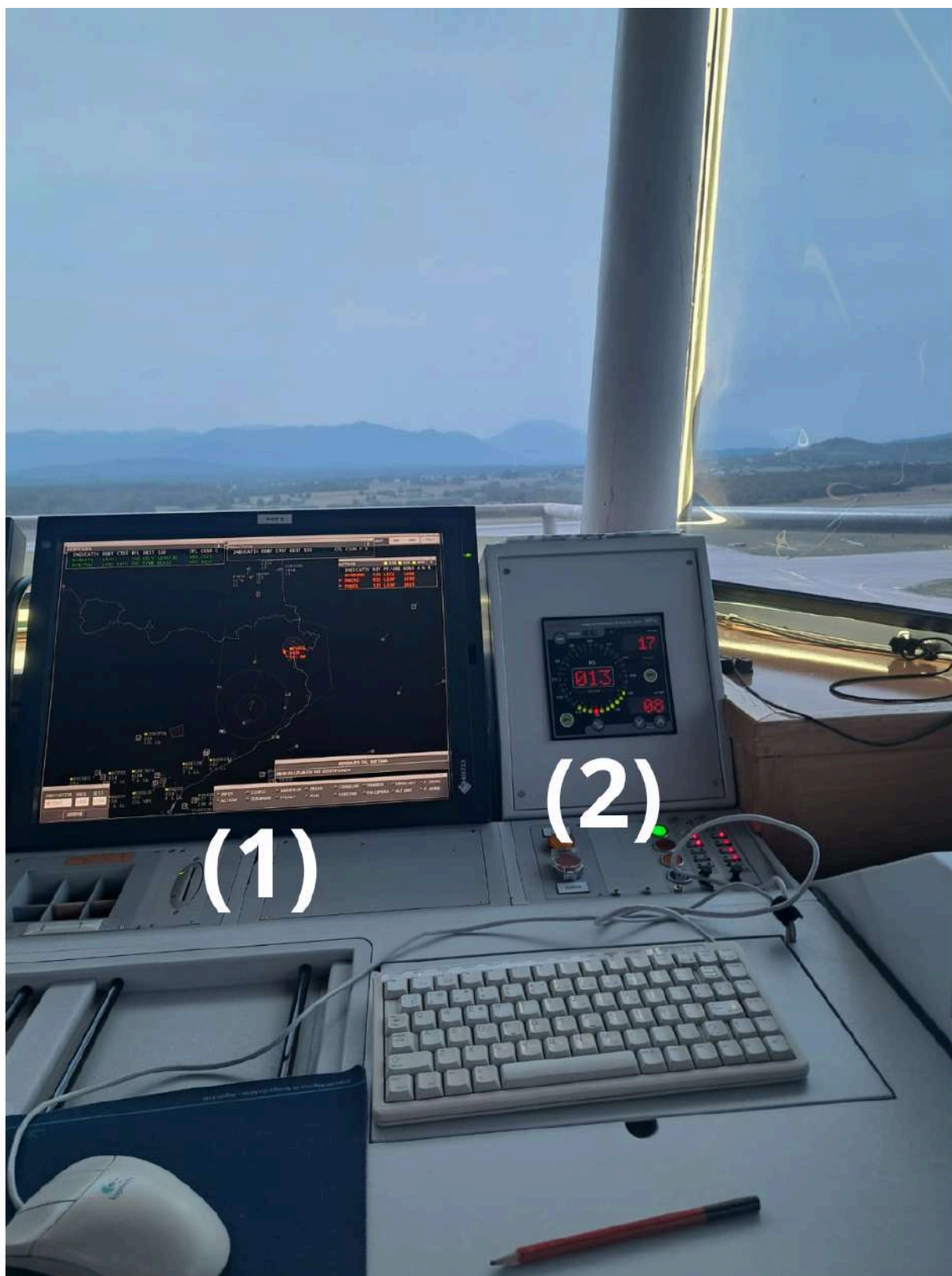


Figura 60: Imatge on es pot visualitzar l'equipament.

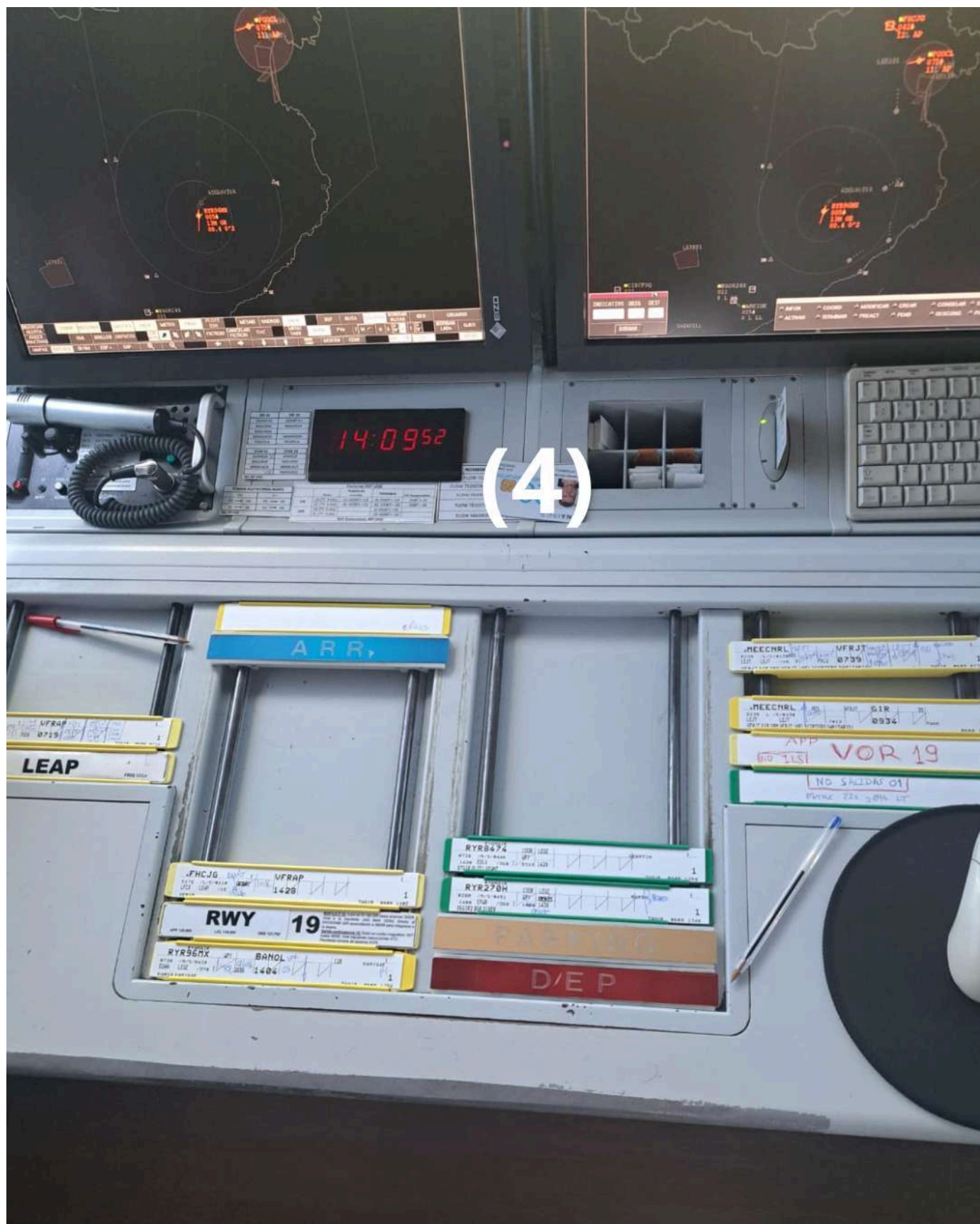


Figura 61: Imatge on es pot visualitzar l'equipament.

El sistema informàtic que integra tota aquesta informació es diu SACTA, i s'actualitza aproximadament dues vegades al mes. Si alguna actualització falla o presenta problemes, es pot tornar fàcilment a la versió anterior per garantir la continuïtat del servei.

1.2 Controlador Aeri

Per formar-se com a controlador aeri, cal tenir un bon nivell d'anglès tècnic aeronàutic i superar cinc avaluacions diferents, que inclouen proves d'aptitud, tests psicològics i altres exàmens específics. Un cop superades aquestes proves, els aspirants accedeixen a un curs de formació d'un any i mig aproximadament, on reben tots els coneixements teòrics i pràctics necessaris per exercir la professió.

Quan acaben la formació general, són destinats al seu primer aeroport, on reben una preparació específica sobre el funcionament de la instal·lació, els procediments propis i els escenaris més habituals que poden trobar-se. Tot i que la base de la formació és comuna, cada aeroport és diferent, i el controlador ha d'aprendre i familiaritzar-se amb les particularitats de l'entorn on treballarà.

Pel que fa a la gestió d'incidents, cada situació possible té un procediment establert. No hi ha cap incidència que no estigui prevista; i sí, excepcionalment, es dona un cas sense procediment concret, el controlador ha de contactar amb el centre de control de Barcelona per buscar una solució coordinada.

Una de les preguntes plantejades al controlador aeri entrevistat ha estat com gestiona l'estrès i les emocions associades a la responsabilitat de controlar el trànsit aeri. Segons ell, les proves d'accés ja tenen com a objectiu seleccionar persones amb capacitat de treballar sota pressió. A més, durant la formació es treballen tots els possibles escenaris, de manera que el futur controlador ja està preparat o familiaritzat amb situacions complexes abans de començar a treballar.

En cas que es produeixi un incident o accident, ENAIRE (l'empresa gestora de navegació aèria a Espanya) ofereix recursos psicològics per ajudar el personal afectat a recuperar-se emocionalment del que hagi pogut viure o presenciar.

A més, cada any, els controladors han de superar una prova pràctica amb simulador, per garantir que mantenen els coneixements actualitzats i per detectar si cal reforçar alguna part de la seva formació.

Un dels exàmens inicials més importants és el de competència en anglès aeronàutic, ja que la comunicació internacional en aviació es fa majoritàriament en aquest idioma. Aquesta acreditació també s'ha de renovar periòdicament, segons el nivell assolit:

- **Nivells 1, 2 i 3:** No permeten exercir com a controlador aeri.
- **Nivell 4:** És el mínim exigible per treballar; s'ha de renovar cada 3 anys.
- **Nivell 5:** Té una validesa de 6 anys abans de renovar.
- **Nivell 6:** És el nivell màxim (excel·lència); s'ha de renovar cada 9 anys, tot i que es considera un nivell altament competent.

1.3 Espai Aeri

1.3.1. Classificació de l'espai aeri.

L'espai aeri es classifica mitjançant lletres que van de la A a la G, segons diversos criteris com el tipus d'aeroport, la densitat de trànsit i les característiques de l'espai.

- **De la classe A fins a la E,** es tracta d'**espai aeri controlat**, és a dir, supervisat per serveis de control de trànsit aeri.
- **Les classes F i G** corresponen a **espais aeris no controlats**, on els pilots operen amb més autonomia i amb menys regulació directa.

En el cas concret de l'aeroport de Girona, quan una aeronau entra dins el seu espai aeri (visualitzat com un cub tridimensional imaginari), aquest es classifica com espai aeri de tipus D.

L'espai aeri de classe A s'assigna a zones amb trànsit molt intens, habitualment per sobre dels 6.000 metres d'altitud, i és extremadament regulat: només poden volar-hi avions amb característiques específiques, que han d'estar en comunicació constant amb el control de trànsit aeri. A l'aeroport de Barcelona, per exemple, l'espai aeri immediat pot ser de classe C o D, segons la zona, però l'espai superior està classificat com classe A.

En canvi, l'espai aeri de classe D, com el de Girona, és menys restrictiu. Permet l'entrada de tot tipus d'aeronaus sempre que compleixin determinats requisits, i

encara que la comunicació amb la torre és obligatòria, no és tan estricta com en espais aeris superiors.

Cal destacar que aquesta és només una introducció molt bàsica sobre un tema complex, que requereix formació especialitzada per ser entès en profunditat.

1.3.2. Capacitat i gestió de l'espai aeri

Cada espai aeri gestionat per una torre de control té un límit màxim d'aeronaus que poden circular-hi simultàniament. Aquest límit es determina tenint en compte diversos factors, com la capacitat dels sistemes de control, el nombre de controladors disponibles i la complexitat del trànsit.

Si s'arriba al màxim permès, pot ser necessari retenir avions a terra fins que l'espai s'alliberi. Aquesta mesura es pren per garantir la seguretat i per evitar una sobrecàrrega del controlador, especialment en casos com el de Girona, on una sola persona pot estar encarregada de tot l'espai aeri de la zona.

1.4 Procediments

Perquè un avió pugui aterrar o enlairar-se, és necessari que presenti prèviament un pla de vol. En el cas dels vols no comercials, aquest pla s'ha d'enviar fins un dia abans de l'operació prevista. En canvi, les aerolínies comercials solen presentar un pla de vols per a tot l'any, indicant totes les operacions previstes en cada aeroport. Aquest sistema de planificació s'anomena reserva de SLOTS. Un SLOT és el període de temps assignat a una aeronau per enlairar-se o aterrar. Serveix per organitzar l'activitat de l'aeroport i assegurar que hi ha disponibilitat de pista i serveis per a cada vol. Gràcies a aquests SLOTS, es pot mantenir un flux ordenat de trànsit i evitar col·lapses operatius.

1.4.1. El vent i la direcció de la pista

Un altre aspecte fonamental que els controladors aeris tenen sempre en compte, és la direcció del vent. Tant per enlairar-se com per aterrar, els avions ho fan sempre amb el vent en contra. Això és així perquè:

- En l'aterratge, el vent en contra ajuda a reduir la distància de frenada.

- En l'enlairament, aquest vent aporta velocitat relativa addicional, cosa que redueix la velocitat real que necessita l'avió per generar la sustentació suficient.

Per exemple, si una aeronau necessita una velocitat de 120 nusos (knots) per enlairar-se, però hi ha 20 nusos de vent en contra, l'avió només haurà d'arribar a 100 nusos de velocitat real per aconseguir l'efecte necessari, ja que el vent compensa la diferència.

Aquest factor influeix directament en l'ús de la pista. A l'aeroport de Girona, hi ha una única pista, però es pot utilitzar en els dos sentits segons la direcció del vent. El controlador decideix quin cap de pista s'ha d'utilitzar en funció de les condicions meteorològiques, per garantir la màxima seguretat i eficiència.

1.4.2. Gestió d'incidents i informes

En cas que es produeixi un incident o una situació fora de la normalitat, és obligatori redactar un informe on es recullin els fets i les possibles causes.

Això explica per què, en alguns vídeos virals que circulen per xarxes socials —on es poden escoltar les comunicacions entre pilots i torres de control—, és habitual sentir com el controlador facilita un número de telèfon al pilot. Aquest número serveix perquè, després de l'incident, el pilot i el controlador puguin parlar fora de freqüència i posar-se d'acord sobre què ha passat, per tal de redactar conjuntament l'informe corresponent de manera precisa i objectiva.

1.5 Extra i Curiositats

Això és només una petita pinzellada de tot el que vam veure. Després de fer les preguntes als professionals de la torre, vam tenir l'oportunitat de pujar a una furgoneta senyalitzadora i veure la pista d'aterratge de prop, una experiència molt enriquidora.

Tota la informació oficial de l'aeroport, incloent-hi les característiques de la pista, els sistemes d'aproximació i altres dades tècniques, es pot consultar a l'AIP (Aeronautical Information Publication) disponible al web d'ENAIRE:

<https://aip.enaire.es/AIP> . En aquest treball, hem comentat algunes d'aquestes dades.

Una curiositat que em va cridar especialment l'atenció és que, com que l'aeroport de Girona està envoltat de zones boscoses i muntanyoses, hi ha una figura molt singular anomenada la falconera. Aquesta persona s'encarrega d'espantar ocells amb falcons entrenats, per evitar que s'apropin a les pistes i suposin un perill per als avions. A més, la furgoneta de senyalització on vam pujar disposava de potents altaveus que emeten sons d'ocells a un volum molt alt, amb el mateix objectiu: dissuadir la presència d'aus a la zona.

Una altra curiositat interessant és el protocol d'emergència en cas d'incident. Si es necessita la intervenció dels bombers de l'aeroport, des de la torre de control es prem un botó d'alarma que activa un senyal directe a la caserna. En només dos minuts, els bombers han d'estar equipats, arribar al lloc de l'incident i descarregar el dipòsit d'aigua o escuma de manera ràpida i coordinada.

2. Idees de part pràctica fallides:

2.1. Maqueta d'avió funcional i teledirigit

En iniciar aquest treball de recerca la meva primera idea era crear una maqueta d'avió funcional. L'any passat la meva part pràctica del Projecte de Recerca també consistia en una maqueta d'avió però per raons de programari, maquinària i temps, no va ser possible que funcionés i no va poder enlairar-se. Aquesta maqueta consistia en dues parts diferents, el telecomandament i la maqueta. Totes dues tenien integrades una placa Arduino NANO : la de la maqueta estava connectada a un receptor i la placa del telecomandament, a un emissor. El programari, després de ser revisat, era funcional, però la maquinària i les connexions no eren les més adequades, provocant que la maqueta no funcionés sempre de manera correcta.

En el planejament i inicis d'aquest TDR, aquesta va ser la primera idea que vaig tenir. Volia utilitzar el coneixement adquirit dels meus errors i intentar fer una maqueta funcional amb impressora 3D i amb capacitat de ser teledirigida.

Després de buscar a la web, vaig trobar un arxiu que consistia en una rèplica d'un avió comercial (concretament era l'avió Airbus A350-900 a escala 1/40) i estava

especialment recreada pel que necessitava, tenint en compte que la mesura d'ala a ala (wingspan) era d'uns 1,6 metres.

L'objectiu era reutilitzar el programari i les plaques que vaig utilitzar per al projecte anterior i modificar-les per poder utilitzar-les amb aquesta maqueta.

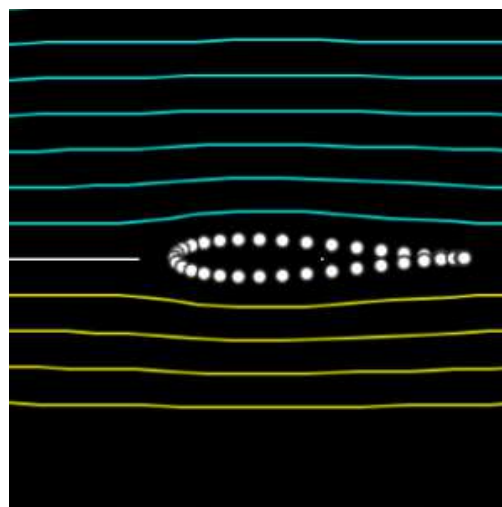
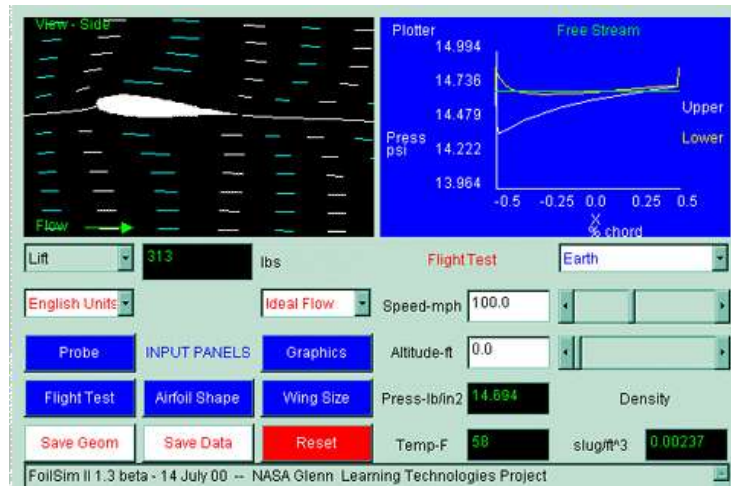
Vaig descarregar el manual que l'autor original tenia pel muntatge i vaig tenir en compte el material necessari per fer aquest projecte. Després de fer uns càlculs bàsics del cost dels materials, vaig adonar-me que aquest projecte era molt car i que no era possible realitzar-lo tenint en compte la meua capacitat econòmica.

Aquesta situació no em va desmotivar i conjuntament amb la meua tutora, vam explorar més projectes per poder realitzar.

2.2. Simulador de perfils alars i flux d'aire aerodinàmic

L'objectiu d'aquesta part pràctica era dur a terme un tipus d'aplicació de mòbil o una pàgina web on podies pujar perfils alars o crear perfils alars de zero. Amb aquests perfils alars podies aplicar tota la teoria explicada i efectes explicats en aquest TDR. L'esbós era una app on es podia modificar la velocitat relativa, la pressió atmosfèrica i l'angle d'atac per veure com l'aire es comportava en trobar-se amb el perfil. Les dades planejades que anava a proporcionar com a resultat era l'emprenyament, la pressió i la velocitat de l'aire sobre i sota l'ala.

La idea era fer-ho a partir del llenguatge de programació Python i la inspiració eren aplicacions trobades a la web educatives per exemple de la NASA. Aquí insereixo fotos de les aplicacions.



Figures. 62 i 63: Imatges d'inspiració

Al final aquesta idea també va quedar descartada per la dificultat del projecte utilitzant el llenguatge de programació que vaig escollir. No vaig veure possible aprendre o expandir el meu coneixement en aquest llenguatge de programació pel temps que tenia i la càrrega de treball que tenia.

3. Codis de versions anteriors.

3.1 Codi Versió 1

```
import json
import folium
import requests
```

```

import time #Inserim llibreries per poder comunicar-nos amb el Python de
manera correcta.
url="http://192.168.1.25:8080/data/aircraft.json" #L'enllaç d'on s'accedeix
la informació del JSON. Fa la petició a la web i si no ho aconsegueix, dona
error. En cas d'èxit, descarrega el JSON.
try:
    response = requests.get(url, timeout=10)
    response.raise_for_status()
    data=response.json()
except requests.exceptions.RequestException as e:
    print(f"Error al accedir, error: {e}")
    data= {"aircraft": []}

m=folium.Map(location=[42.11385, 2.77369], zoom_start=8) #Creació del mapa
amb les coordenades de Banyoles.
numero_avions=len(data["aircraft"])
for avion in data["aircraft"]:
    info=[]

b=["flight","lat","lon","alt_baro","track","gs","emergency","category","seen"
] #La informació neccecaria que volem mostrar.
#llistat de dades que voldrem guardar i/o ensenyar.
for act in b:
    info.append(avion.get(act)) #Guardar en un diccionari.

    if info[1] is None or info[2] is None or (info[-1] is not None and
info[-1]>=60): #Saltem el bucle en cas de que algun vol no tingui posició o
que no s'hagi rebut ningun missatge en 60 segons.
        continue

    if info[6] is None or info[6]=="none": #En cas de que no hi hagi
emergencia que enseny la paraula "Cap"
        emergencia="Cap"
    else:
        emergencia=info[6] #Categorització dels vols per tipus i color.
    if info[7]=="A1": #Lleuger
        forma='plane'
        colorf="Lavender"
    elif info[7]=="A2": #Mitja
        forma='plane'
        colorf="MediumSeaGreen"
    elif info[7]=="A3": #Mitja-Pesat
        forma='plane'
        colorf="White"
    elif info[7]=="A4": #Pesat
        forma='plane'
        colorf="White"
    elif info[7]=="A5": #Super Pesat

```

```

        forma='plane'
        colorf="White"
    elif info[7]=="A6": #Molt maniobrables
        forma='plane'
        colorf="Gray"
    elif info[7]=="B1": #Molt maniobrables
        forma='helicopter'
        colorf="Orange"
    else:
        #Si no esta en aquesta llista
        forma='question'
        colorf="gray"
    if info[6] not in ["none", None]: #En cas d'emergencia color vermell.
        colorf="Red"
    graus=info[4] - 90 #Rotació de la forma amb la direcció del vol
    forma_html=f'''
<div style="transform: rotate({graus}deg)">
    <i class="fa fa-{forma} fa-lg" style="color: {colorf};"></i>
</div>
'''
    marker_icon=folium.features.DivIcon(html=forma_html)

    info_popup=f"""
<b>Codi Vol=</b> {info[0]}<br>
<b>Altitud=</b>{info[3]} ft(peus)<br>
<b>Rumb de l'avió en graus=</b> {info[4]} °<br>
<b>Velocitat=</b> {info[5]} knots<br>
<b>Codi d'emergencia?</b> {emergencia}<br>
<b>Categoria de l'aeronau detectada=</b> {info[7]}<br>
<b>Ultim missatge rebut de l'avió=</b> {info[8]}
"""
    #La informació que volem mostrar al fer click.
    folium.Marker(location=[info[1], info[2]],tooltip=info[0],
popup=info_popup, icon=marker_icon).add_to(m)
#
["hex",
"flight","lat","lon","alt_baro","track","gs","emergency","category","seen"]
m.save("webavionsV1.html")

```

3.2 Codi Versió 2

```

import json
import folium
import requests
import time
from folium.features import JsCode
url="http://192.168.1.25:8080/data/aircraft.json"
try:

```

```

        response = requests.get(url, timeout=10)
        response.raise_for_status()
        data=response.json()
except requests.exceptions.RequestException as e:
    print(f"Error al accedir, error: {e}")
    data= {"aircraft": []}

m=folium.Map(location=[42.11385, 2.77369], zoom_start=8)

numero_avions=len(data["aircraft"])
geojson_features=[] #Creem una llista buida per guardar tots els avions que
voldrem inserir
for avion in data["aircraft"]:
    info=[]

b=["flight","lat","lon","alt_baro","track","gs","emergency","category","seen"
]

    #llistat de dades que voldrem guardar i/o ensenyar.
    for act in b:
        info.append(avion.get(act))

        if info[1] is None or info[2] is None or (info[-1] is not None and
info[-1]>=60):
            continue

        if info[6] is None or info[6]=="none":
            emergencia="Cap"
        else:
            emergencia=info[6]
        if info[7]=="A1": #Lleuger
            forma='plane'
            colorf="Lavender"
        elif info[7]=="A2": #Mitja
            forma='plane'
            colorf="MediumSeaGreen"
        elif info[7]=="A3": #Mitja-Pesat
            forma='plane'
            colorf="White"
        elif info[7]=="A4": #Pesat
            forma='plane'
            colorf="White"
        elif info[7]=="A5": #Super Pesat
            forma='plane'
            colorf="White"
        elif info[7]=="A6": #Molt maniobrables
            forma='plane'
            colorf="Gray"
        elif info[7]=="A7": #Molt maniobrables

```

```

        forma='helicopter'
        colorf="Orange"
    elif info[7]=="B1": #Molt maniobrables
        forma='helicopter'
        colorf="Orange"
    else:
        #Si no esta en aquesta llista
        forma='question'
        colorf="gray"
    if info[6] not in ["none", None]: #En cas d'emergencia
        colorf="Red"
    if info[4] in [None, "none"]:
        continue
    info_popup=f"""
<b>Codi Vol=</b> {info[0]}<br>
<b>Altitud=</b>{info[3]} ft(peus)<br>
<b>Rumb de l'avió en graus=</b> {info[4]} °<br>
<b>Velocitat=</b> {info[5]} knots<br>
<b>Codi d'emergencia?</b> {emergencia}<br>
<b>Categoria de l'aeronau detectada=</b> {info[7]}<br>
<b>Ultim missatge rebut de l'avió=</b> {info[8]}
#Aqui, en lloc de crear un marcador, creem un diccionari amb un format
concret per comunicarnos amb el Folium
"""
    geojson_feature = {
        "type": "Feature",
        "geometry": {
            "type": "Point",
            "coordinates": [info[2],info[1]] #Inserim al revés la longitud i
la latitud.
        },
        "properties": {
            "flight": info[0],
            "altitude": info[3],
            "track": info[4],
            "speed": info[5],
            "emergency": emergencia,
            "category": info[7],
            "seen": info[8],
            "icon_form": forma,
            "icon_color": colorf,
            "popup_html": info_popup
        }
    }
    geojson_features.append(geojson_feature);
#Aqui li definim a al nostre codi amb JavaScript (per Folium) com volem que
procedeixi amb la creació dels icones i la representació dels vols.
Comuniquem la rotació, coordenades, l'icona...
point_to_layer_js="""

```

```

function(feature, latlng) {
  const props = feature.properties;
  const icon = L.divIcon({
    className: 'custom-div-icon',
    html: `<div style="font-size: 16px; text-shadow: 0 0 3px #000;">
      <i class="fa fa-${props.icon_form}"
        style="color: ${props.icon_color};
          transform: rotate(${props.track -90}deg);">
        </i>
      </div>`,
    iconSize: [20, 20],
    iconAnchor: [10,10]
  });
  return L.marker(latlng, { icon: icon })
    .bindPopup(props.popup_html)
    .bindTooltip(props.flight,{
      permanent: true,
      direction: 'top',
      offset: [0, -10],
      className: 'flight-label'

    });
}

"""
#I el pas final es afegir tots els avions en el mapa perquè Folium entengui
el codi JavaScript que hem escrit i el procesi.
geojson_layer = folium.GeoJson(
  json.dumps({"type": "FeatureCollection", "features": geojson_features}),
  name="Aviones",
  point_to_layer=JsCode(point_to_layer_js)
).add_to(m)
#                                                                 ["hex",
"flight","lat","lon","alt_baro","track","gs","emergency","category","seen"]
m.save("webavionsV2.html")
print("MAPA CREAT")

```

3.3 Codi Versió 3

3.3.1 Codi creador del mapa

```

import folium
from branca.element import Element

m = folium.Map(location=[42.11385, 2.77369], zoom_start=8)

```

```

nom_mapa_js = m.get_name()
#Traducció del codi Python de les versions anteriors a JavaScript.
actualitzador_js = f'''
    document.addEventListener('DOMContentLoaded', function() {{

        var capaAvions = L.layerGroup().addTo({nom_mapa_js});
        var marcadorsActuals = {{}};
//Funció principal que dibuixa/actualitza els avions
        function dibuixaAeronaus(dades) {{
            if (!dades.aircraft) return;

            var avionsRebutts = {{}}; // Llista per saber quins avions han
arribat en aquesta actualització.

            dades.aircraft.forEach(avio) {{

                const id = avio.hex;
                if (!id) return;

                avionsRebutts[id] = true;
//Per definir la icona, el color i la rotació (traslladada de Python a JS).
                const lat = avio.lat;
                const lon = avio.lon;
                const track = avio.track;
                const categoria = avio.category;

                if (lat == null || lon == null || track == null) {{
                    return;
                }}

                let forma = 'question';
                let color = 'gray';
                if (categoria === 'B1' || categoria === 'A7') {{
                    forma = 'helicopter';
                    color = 'Orange';
                }} else if (categoria && categoria.startsWith('A')) {{
                    forma = 'plane';
                    if (categoria === 'A1') color = 'Lavender';
                    else if (categoria === 'A2') color = 'MediumSeaGreen';
                    else if (categoria === 'A6') color = 'Gray';
                    else color = 'White';
                }}
                if (avio.emergency && avio.emergency !== 'none') {{
                    color = 'Red';
                }}

                const icona = L.divIcon({{
                    className: 'custom-div-icon',

```

```

        html: `

107


```

```

        }}
    }}
//Funció que demana les dades, crida l'altra funció i carrega les dades
    async function actualitzaMapa() {{
        try {{
            const resposta = await fetch("aircraft_act.json");
            const dades = await resposta.json();

            dibuixaAeronaus(dades);
        }} catch (e) {{
            console.error("Error al carregar les dades de les aeronaus:",
e);
        }}
    }}

    window.setInterval(actualitzaMapa, 3000);
    actualitzaMapa();
    }));
'''

script_tag = f"<script>{actualitzador_js}</script>"
m.get_root().html.add_child(Element(script_tag))

print("MAPA V3 (AMB POPUPS PERSISTENTS) CREAT EN 'webavions.html'")
print("Recorda executar 'python -m http.server' i 'actualizador_dades.py' en
una altra terminal.") #Si no s'executa, el mapa no s'actualitza.

```

3.3.2 Codi actualitzador del mapa

```

import json
import requests
import time
url_dades="http://192.168.1.25:8080/data/aircraft.json"
sortida="aircraft_act.json"
espera=3
print("Iniciant actualitzador en temps real (Ctrl+C PER PARAR)")
while True: # Aquest bucle s'executarà infinitament per mantenir les dades
actualitzades cada 3 segons.
    try:
        response= requests.get(url_dades, timeout=3)
        response.raise_for_status()
        data=response.json()
# Guarda les dades descarregades a un arxiu local.
        with open(sortida, 'w') as f:
            json.dump(data, f)

```

```

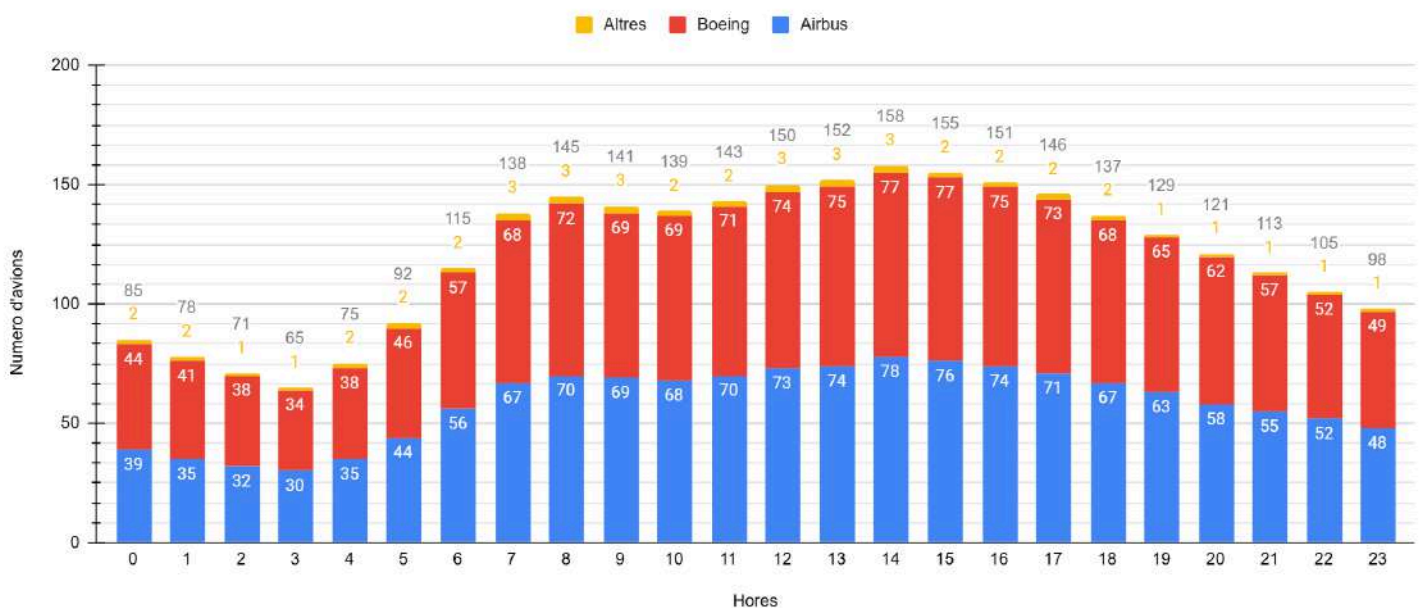
        print(f"Dades actualitzades correctament, a
{time.localtime()[2]}/{time.localtime()[1]}/{time.localtime()[0]} a les
{time.localtime()[3]}:{time.localtime()[4]}:{time.localtime()[5]} s'han
detectat {len(data.get("aircraft", []))} aeronaus")
except requests.exceptions.RequestException as e:
    # Si hi ha un error de connexió, ho mostra per pantalla i continua.
    print(f"Error amb contactar amb receptor: {e}")
    time.sleep(espera)
    # Pausa durant els segons definits a la variable 'espera'.

```

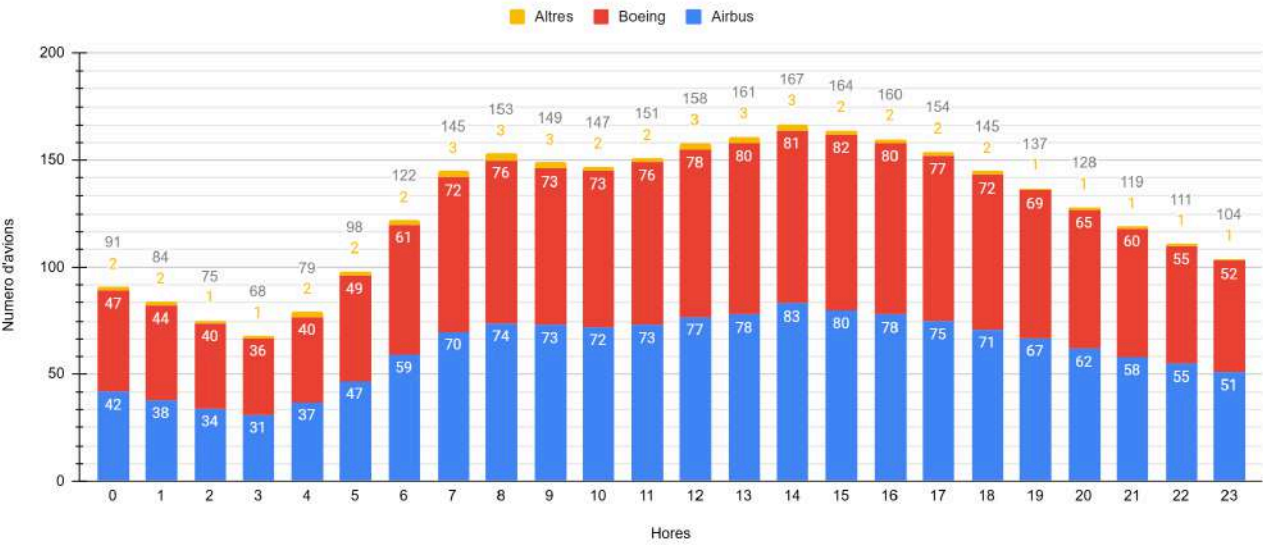
4. Gràfics resultants de les dades analitzades pel punt 3.3.2 de la part pràctica.

Aquests gràfics varen ser creats amb ajuda de l'eina en línia de Google Sheets.

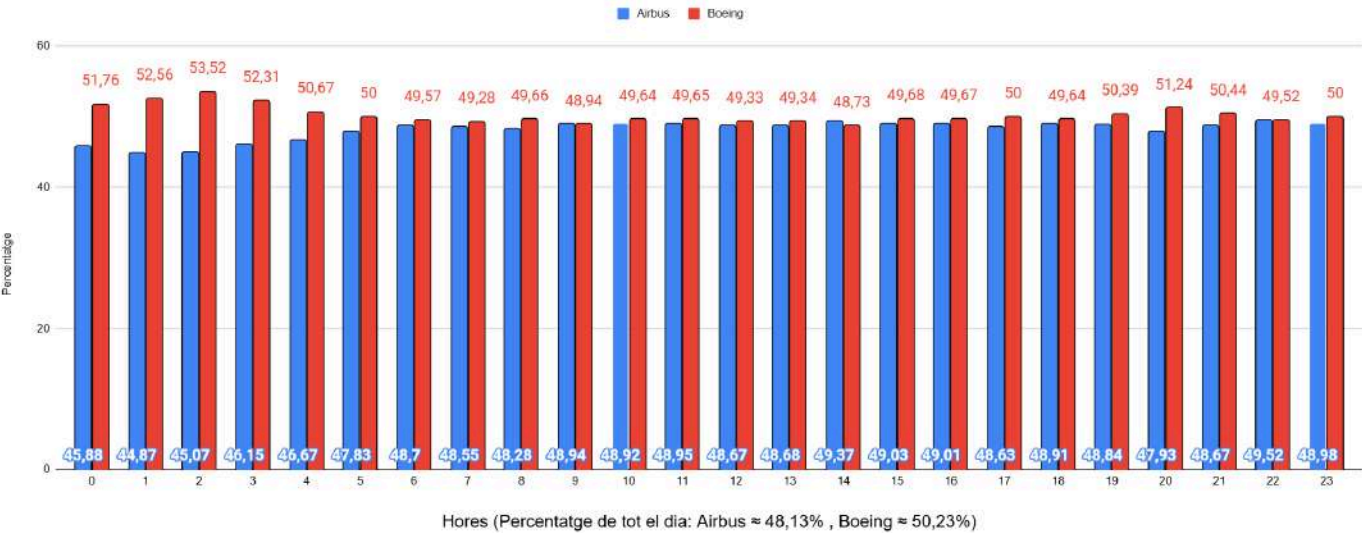
Nombre d'aeronaus detectades el 23 de setembre de 2025



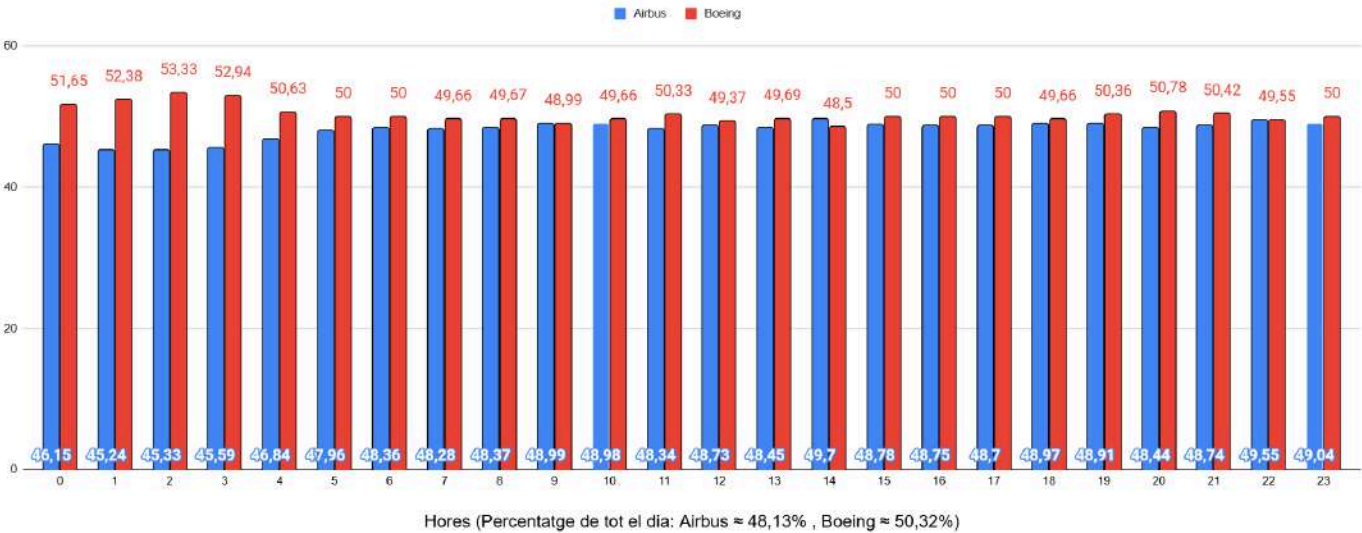
Nombre d'aeronaus detectades el 24 de setembre de 2025



Comparativa en percentatges d'avions detectats per antena el dia 23 de setembre categoritzats per Airbus i Boeing



Comparativa en percentatges d'avions detectats per antena el dia 24 de setembre categoritzats per Airbus i Boeing



5. Denegació de mites i el perquè

A causa de la por a volar amb avió i al desconeixement de la física dels avions, la societat ha generat rumors que al final s'han convertit en mites. Al llarg del temps, han aparegut mites relacionats amb l'aviació, que físicament són impossibles o improbables.

- Mite: *És possible obrir una porta d'avió a mig vol.*

Resposta: És físicament impossible. Les portes dels avions estan especialment dissenyades per segellar-se conjuntament amb la diferència de pressions de l'interior de la cabina i de l'exterior d'aquesta. La pressió de l'exterior és molt inferior a la de l'interior, i la de l'interior està pressuritzada de manera que és segura pels éssers humans. La força necessària seria enorme, de manera que ni la persona més forta del món, podria obrir-la.

- Mite: *Si els motors de l'avió fallen, aquest cauria de seguida.*

Resposta: Els avions estan dissenyats per planejar. Si els motors deixen de funcionar, un avió podria continuar planejant durant centenars de quilòmetres, donant prou temps per als pilots poder aterrar de forma segura.