



Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i
Aeroespacial de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TREBALL DE FI DE CARRERA

TÍTOL DEL TFC: Estudi de performances d'enlairament d'avions pel disseny de procediments d'atenuació de soroll

TITULACIÓ: Enginyeria Tècnica Aeronàutica, especialitat Aeronavegació

AUTORS: Daniel Expósito Ballescà
Sergi Vela Bulbena

DIRECTOR: Xavier Prats i Menéndez

DATA: 28 de juny de 2011

Títol: Estudi de performances d'enlairament d'avions pel disseny de procediments d'atenuació de soroll

Autors: Daniel Expósito Ballescà, Sergi Vela Bulbena

Director: Xavier Prats i Menéndez

Data: 28 de juny de 2011

Resum

Aquest projecte és una contribució a la recerca vigent que tracta de minimitzar l'impacte acústic produït per les aeronaus en operacions d'enlairament. En concret, el present treball es centra en l'estudi de la distància respecte la capçalera de pista on s'inicia el procediment d'atenuació del soroll, sense entrar en detall en la definició de les maniobres posteriors que el defineixen. Tot l'estudi es desenvolupa pels models d'avió A320 i A321 d'Airbus i considerant 5 destinacions europees típiques des de l'aeroport de Girona-Costa Brava.

La distància a la qual s'inicien aquests tipus de procediments és la corresponent a quan l'avió es troba a 400 ft d'alçada per sobre la pista. Així doncs, aquesta distància pot afectar el disseny final dels procediments d'atenuació de soroll que es defineixin a l'aeroport. Juntament amb aquesta distància, calculem les distàncies d'enlairament TOR (*Take Off Runway*) i TOD (*Take Off Distance*) necessàries segons la configuració de *performance* de l'avió per a cada vol. D'altra banda hem comprovat l'afectació dels obstacles de la pista en les distàncies d'enlairament.

Per tal d'assolir els objectius proposats s'ha utilitzat un programari desenvolupat per Airbus (*Performance Engineering Program*) que duu a terme simulacions de vols complets, calculant-ne tots els paràmetres. A causa de l'extensa quantitat de dades i arxius a processar, s'ha automatitzat el procés d'introducció i processament de dades mitjançant *scripts* dissenyats i programats amb llenguatge Bash-Shell.

Finalment, hem comprovat i verificat que la distància a la que ha d'iniciar-se el procediment d'atenuació del soroll és major volant amb el model A321, a la destinació més llunyana, amb velocitat d'enlairament màxima, amb el màxim *payload* amb el major valor de *cost index* i amb configuració de flaps/slats a l'enlairament CONF 1+F. La presència dels obstacles al voltant de la pista, provoca un augment a les distàncies necessàries TOR i TOD però no influeix a la distància on s'inicia el procediment d'atenuació (400 ft d'alçada). Pel que fa a l'afectació del *cost index* a aquestes distàncies hem determinat que aquest pràcticament no les fa variar. El valor màxim de la distància a la que s'inicia el procediment d'atenuació del soroll és de 2865 m mentre que el mínim és de 1545 m.

Title: Study of aircraft take-off performance for the design of noise abatement procedures

Authors: Daniel Expósito Ballescà, Sergi Vela Bulbena

Director: Xavier Prats i Menéndez

Date: June, 28th 2011

Overview

This project is a contribution to current research which deals with minimizing the noise impact produced by aircraft at take-off operations. In particular, this work studies the distance from the brake release to the point where the take-off noise abatement procedure starts, without going into detail on the definition of such a procedure. All the study is carried out for Airbus A320 and A321 aircraft models, flying to 5 typical European destinations from Girona-Costa Brava airport.

The distance where these types of procedures are initiated is the distance when the aircraft reaches 400 ft above the runway. Thus, this distance affects the final design of the noise abatement procedures that can be defined at the airport. We calculate the distances TOR (Take Off Runway) and TOD (Take Off Distance) required by the aircraft at different flap/slats configurations and for each route considered. In addition we assessed the effect of obstacles on these take-off distances.

To achieve the objectives of this project we used a software suite developed by Airbus: the Performance Engineering Programs (PEP). These software are able to compute a wide range of flight operational parameters. Due to the extensive amount of data and files to process, we have automated the process of entering and processing data using scripting language designed and programmed with Linux Bash-Shell.

As principal result, we found that the distance that the noise abatement procedure shall begin is greater for the A321 model, the most distant destination, with maximum take-off speed, maximum payload, higher cost index and flaps/slats take-off configuration CONF 1+F. The presence of obstacles around the runway causes an increase in the distances TOR and TOD but it almost does not affect the distance at which begins the take-off procedure. We determined that the cost index does not practically affect on these distances. The maximum distance where the noise abatement procedure could begin is 2865 m from the brake release, while the minimum one is 1545 m.

ÍNDIX DE CONTINGUTS

1. INTRODUCCIÓ	1
2. CASOS D'ESTUDI CONSIDERATS	3
2.1 Models d'avió.....	3
2.2 Costos d'operació	4
2.3 Aeroport de sortida: Girona-Costa Brava.....	4
2.3.1 Dades de la pista d'enlairament	5
2.4 Destinacions considerades.....	7
2.4.1 Aeroport de Roma-Ciampino.....	7
2.4.2 Aeroport de Frankfurt-Hahn	7
2.4.3 Aeroport de London-Stansted	8
2.4.4 Aeroport de Helsinki-Vantaa	9
2.4.5 Aeroport de Beauvais-Tillé	10
2.4.6 Distàncies	10
3. LÍMITS OPERACIONALS A L'ENLAIRAMENT	11
3.1 Velocitats característiques a l'enlairament	11
3.1.1 Velocitat V_1	11
3.1.2 Velocitat mínima de control al terra (V_{MCG})	12
3.1.3 Velocitat de pèrdua (V_S)	12
3.1.4 Velocitat de rotació (V_R)	13
3.1.5 Velocitat mínima de control a l'aire (V_{MCA})	14
3.1.6 Velocitat d'enlairament (V_{LOF}).....	14
3.1.7 Velocitat V_{MU} (<i>Minimum Unstick</i>).....	14
3.1.8 Velocitat de seguretat a l'enlairament (V_2)	15
3.2 Distàncies a l'enlairament	15
3.2.1 Distàncies declarades	16
3.2.2 Distància d'enlairament (TOD)	16
3.2.3 Carrera d'enlairament (TOR).....	17
3.2.4 Distància d'acceleració-parada (ASD)	17
3.3 Trajectòria d'enlairament. Segments típics	17
3.4 Limitacions a l'enlairament	18

4. PROCEDIMENT PEP	20
4.1 Introducció al PEP	20
4.2 Treball amb els mòduls del PEP	23
4.2.1 TLO: Càlcul de les masses màximes d'enlairament	23
4.2.2 FLIP: Càlcul del combustible necessari pel vol	26
4.2.3 FM: Càlcul de paràmetres operacionals a l'enlairament	28
4.2.4 OFP: Càlcul de les distàncies d'enlairament	31
5. AUTOMATITZACIÓ DEL PROCÉS	33
5.1 Programes utilitzats per l'automatització	34
5.1.1 Bash <i>Scripts</i>	34
5.1.2 Comandes del Shell	34
5.1.3 Cygwin	36
5.2 Diagrames de codi dels <i>scripts</i>	36
5.2.1 Introducció al procés	36
5.2.2 Generador fitxers d'entrada del FLIP	38
5.2.3 Processador fitxers de sortida del FLIP	39
5.2.4 Generador fitxers d'entrada de l'FM	40
5.2.5 Processador fitxers de sortida de l'FM	41
5.2.6 Generador fitxers d'entrada de l'OFP	42
5.2.7 Processador fitxers de sortida de l'OFP	43
5.2.8 Creador de fitxers Batch	44
5.2.9 Extracció de les dades per a la realització de gràfics	45
6. RESULTATS DE L'ESTUDI	47
6.1 TLO: Càlcul de les masses màximes d'enlairament	47
6.1.1 Resultats Airbus A320	47
6.1.2 Resultats Airbus A321	48
6.1.3 Interpretació de resultats	48
6.2 FLIP: Càlcul del combustible necessari pel vol	49
6.2.1 Estudi del Flight Level Òptim	49
6.2.2 Estudi del pes TOW	50
6.3 FM: Càlcul de paràmetres operacionals a l'enlairament	51
6.3.1 Estudi de les velocitats operacionals a l'enlairament en funció del <i>payload</i>	52
6.3.2 Estudi de les velocitats respecte la configuració d'enlairament	53
6.3.3 Estudi del gradient del 1er segment respecte la relació $V2/Vs$	54

6.4	OFF: Càlcul de les distàncies d'enlairament.....	55
6.4.1	Cas ideal.....	55
6.4.2	Cas real: pista LEGE RWY02	58
7.	CONCLUSIONS	61
8.	BIBLIOGRAFIA.....	63
ANNEX A.	OBSTACLES CONSIDERATS A L'ENLAIRAMENT DE LA PISTA 02 DE GIRONA	65
A.1	Introducció d'obstacles al Google Earth	65
A.2	Bibliografia.....	68
ANNEX B.	DETALL DE LES RUTES CONSIDERADES	69
B.1	Girona – Beauvais (LEGE - LFOB).....	69
B.2	Beauvais – Lesquin (LFOB - LFQQ) (alternatiu).....	73
B.3	Girona – Stansted (LEGE - EGSS)	75
B.4	Stansted – Heathrow (EGSS - EGLL) (alternatiu).....	80
B.5	Girona – Hahn (LEGE - EDFH).....	82
B.6	Hahn – Dortmund (EDFH - EDLW) (alternatiu)	89
B.7.	Girona – Ciampino (LEGE - LIRA).....	91
B.8	Ciampino – Ampugnano (LIRA - LIQS) (alternatiu).....	94
B.9	Girona – Vantaa (LEGE - EFHK).....	96
B.10	Vantaa – Tampere (EFHK - EFTP) (alternatiu)	108
B.11	Bibliografia.....	110

ÍNDEX DE FIGURES

Fig. 2.1. Pistes de l'aeroport de Girona. (Font: [18]).....	5
Fig. 2.2. Detalls dels obstacles i de l'àrea EU-OPS.....	6
Fig. 2.3. Pistes de l'aeroport de Ciampino. (Font: [18])	7
Fig. 2.4. Pistes de l'aeroport de Hahn. (Font: [18])	8
Fig. 2.5. Pistes de l'aeroport de Stansted. (Font: [18])	9
Fig. 2.6. Pistes de l'aeroport de Vantaa. (Font: [18])	9
Fig. 2.7. Pistes de l'aeroport de Beauvais. (Font: [18]).....	10
Fig. 3.1. Distàncies declarades de pista. (Font: [17])	16
Fig. 3.2. Detall de la trajectòria d'enlairament. (Font: [17])	18
Fig. 3.4. Limitacions de massa	18
Fig. 3.3. Massa màxima a l'enlairament	18
Fig. 4.1. Pantalla inicial del PEP (Font: [19])	20
Fig. 4.2. <i>Airport Manager</i>	22
Fig. 4.3. <i>Batch Manager</i>	23
Fig. 4.4. Interfície del TLO: <i>Aircraft data</i> i <i>Calculation data</i>	24
Fig. 4.5. Resultats TLO	26
Fig. 4.6. Interfície del FLIP: Finestra principal	26
Fig. 4.7. Interfície del FLIP: Pestanya General i Distàncies	27
Fig. 4.8. Resultats FLIP	28
Fig. 4.9. Interfície de l'FM: Configuració Flaps i Valors V2/Vs.....	29
Fig. 4.10. Resultats FM	30
Fig. 4.11. Interfície de l'OFP: Condicions Inicials i Segment de vol.....	31
Fig. 4.12. Resultats OFP	32
Fig. 5.1. Diagrama resum	37
Fig. 5.2. Diagrama de l'script entrades FLIP	38
Fig. 5.3. Diagrama de l'script sortides FLIP	39
Fig. 5.4. Diagrama de l'script entrades FM.....	40
Fig. 5.5. Diagrama de l'script sortides FM	41
Fig. 5.6. Diagrama de l'script entrades OFP	42
Fig. 5.7. Diagrama de l'script sortides OFP	43
Fig. 5.8. Diagrama de l'script per crear Batch	44
Fig. 5.9. Diagrama de l'script per extreure dades	45
Fig. 5.10. Diagrama de l'script per extreure dades FM.....	46
Fig. 6.1. FL òptim vs PL - A320 CI=60 Kg/min	50
Fig. 6.2. FL òptim vs PL - A321 CI=60 Kg/min	50
Fig. 6.3. TOW vs PL - A321 CI = 60 Kg/min.....	51
Fig. 6.4. TOW vs PL - A320 CI = 60 Kg/min.....	51
Fig. 6.5. Velocitat V2 vs PL - A320.....	52
Fig. 6.6. Velocitat V1 vs PL - A320.....	52
Fig. 6.7. Velocitat d'enlairament vs Configuracions - A320 EDFH.....	53
Fig. 6.8. Gradient 1r segment vs V2/Vs - A320 EDFH	54
Fig. 6.9. Distància vs V2/Vs i CONF - A320 EDFH	55
Fig. 6.10. Distància vs PL - A320 EDFH	56
Fig. 6.11. Distància vs CI - A320 EDFH	57
Fig. 6.12. Distància vs V2/Vs i CONF - A320 EDFH – LEGE RWY02.....	58
Fig. 6.13. Distància vs PL - A320 EDFH - LEGE RWY02	59
Fig. 6.14. Distància vs CI - A320 EDFH - LEGE RWY02	59

Fig. B.1. VOR GIR - GEANT	70
Fig. B.2. GEANT - FOUCO.....	71
Fig. B.3. FOUCO - BENAR.....	72
Fig. B.4. BENAR - LGL.....	72
Fig. B.5. LGL – BV391	73
Fig. B.6. BEAUVAIS - ABB.....	74
Fig. B.7. ABB - LILLE	74
Fig. B.8. VOR GIR - GEANT	75
Fig. B.9. GEANT - LACOU	76
Fig. B.10. LACOU - TUPAR	77
Fig. B.11. TUPAR - ANG	78
Fig. B.12. ANG - DIKRO.....	78
Fig. B.13. KOTEM - MID.....	79
Fig. B.14. MID - LOREL	79
Fig. B.15. STANSTED - BUZAD.....	80
Fig. B.16. BUZAD - BIG	81
Fig. B.17. BIG – OCKHA	81
Fig. B.18. VOR GIR - VOR BGR	83
Fig. B.19. VOR BGR - DIBER	83
Fig. B.20. DIBER - MAXIR.....	84
Fig. B.21. MAXIR - MOBLO.....	84
Fig. B.22. KORED - DITON	85
Fig. B.23. MOBLO - KORED	85
Fig. B.24. DITON - KUDES	85
Fig. B.25. KUDES - TANGO.....	86
Fig. B.26. TANGO - LOHRE.....	87
Fig. B.27. LOHRE - ARKOK.....	88
Fig. B.28. ARKOK - HAHN	88
Fig. B.29. HAHN - NORUENICH	89
Fig. B.30. NORUENICH - ADEMI.....	90
Fig. B.31. ADEMI - WICKEDE	90
Fig. B.32. VOR GIR - VOR BGR	91
Fig. B.33. VOR BGR - OSPOK.....	92
Fig. B.34. OSPOK - ELSAG	92
Fig. B.35. ELSAG - VALMA.....	93
Fig. B.36. VALMA - ROMA.....	93
Fig. B.37. VOR ROM - PEMAR	94
Fig. B.38. PEMAR - AMTEL	95
Fig. B.39. AMTEL - VOR SIE	95
Fig. B.40. VOR GIR - VOR BGR	97
Fig. B.41. VOR BGR - DIBER	98
Fig. B.42. DIBER - MAXIR.....	98
Fig. B.43. MAXIR - MOBLO.....	99
Fig. B.44. KORED - DITON	100
Fig. B.45. MOBLO - KORED	100
Fig. B.46. DITON - KUDES	100
Fig. B.47. KUDES - TANGO.....	101
Fig. B.48. TANGO - LOHRE.....	102
Fig. B.49. LOHRE - KENIG	103
Fig. B.50. KENIG - GUDOP.....	104

Fig. B.51. GUDOP - BINKA.....	105
Fig. B.52. BINKA - GORPI.....	105
Fig. B.53. KOLJA - ALAMI.....	106
Fig. B.54. GORPI - KOLJA.....	106
Fig. B.55. ALAMI - PEXEN.....	107
Fig. B.56. PEXEN - PODOM.....	107
Fig. B.57- VANTAA - VELUN	108
Fig. B.58. VELUN - TESVA.....	109

ÍNDIX DE TAULES

Taula 2.1. Configuracions d'enlairament (Font: [26]).....	3
Taula 2.2. Característiques tècniques de l'A320 i l'A321 (Font: [21]).....	3
Taula 2.3. Dades de la pista RWY02 (Font: [20])	5
Taula 2.4. Distàncies de les rutes	10
Taula 6.1. Comparació cas real amb cas ideal A320	48
Taula 6.2. Comparació cas real amb cas ideal A321	49
Taula A.1. Obstacles RWY02.....	65
Taula A.2. Obstacles RWY02.....	66
Taula B.1. LEGE – LFOB	69
Taula B.2. LFOB – LFQQ.....	73
Taula B.3. LEGE – EGSS.....	75
Taula B.4. EGSS-EGLL.....	80
Taula B.5. LEGE – EDFH.....	82
Taula B.6. EDFH – EDLW	89
Taula B.7. LEGE – LIRA	91
Taula B.8. LIRA - LIQS.....	94
Taula B.9. LEGE-EFHK.....	96
Taula B.10. EFHK - EFTP	108

1. INTRODUCCIÓ

El transport aeri és un mitjà de transport caracteritzat per experimentar un desenvolupament i augment constant i veloç (tot i que la tendència actual no sigui aquesta a causa del descens del creixement econòmic mundial). El nombre de companyies aèries cada vegada és major i com a conseqüència la quantitat d'operacions aèries i per tant del tràfic és molt més que considerable [1,2]. Aquesta realitat comporta una incidència evident sobre el medi ambient i la població. Són afectacions particularment importants en el medi ambient les emissions de gasos residuals que expulsen les aeronaus (contribueixen a l'augment de l'escalfament global) i l'impacte acústic, especialment en les maniobres d'enlairament i aterratge.

Els efectes negatius sobre la població que té el soroll produït pel sobrevol d'avions fa temps que són coneguts i estudiats, tant des d'un punt de vista fisiològic com psicològic [3,4] i són molts els aeroports que d'una manera o altra apliquen diversos tipus de mesures mitigadores per tal de reduir el soroll que rep la població propera [5]. Una de les estratègies més efectives és dissenyar procediments de navegació d'atenuació de soroll, de manera que les aeronaus evitin al màxim el sobrevol de les àrees poblades. Actualment, per exemple, s'apliquen procediments d'aquest tipus en aeroports com Schipol, a Holanda [6] o Madrid-Barajas [7].

A nivell de recerca, són diversos els autors que han plantejat el disseny de procediments d'atenuació de soroll com un problema matemàtic d'optimització de trajectòries (veure per exemple [8-12]). En el cas dels enlairaments, tots els estudis anteriors es basen en trobar la trajectòria òptima de vol a partir del punt on l'avió assoleix els 400 ft d'alçada per sobre la pista. El motiu és que les regulacions actuals no permeten girs en el procediment de sortida per sota d'aquesta altitud i a més, la velocitat de l'avió queda fixada a un valor operacional molt concret [13,14]. D'aquesta manera, no queda pràcticament cap marge a l'optimització de la trajectòria en el tram comprès entre l'enlairament del terra i el punt on s'assoleixen els 400 ft.

El nostre projecte però, es centra justament en aquesta fase inicial tant concreta i tant condicionada per les regulacions i pels procediments operacionals de les companyies aèries. Si bé és cert que durant aquest ascens inicial l'avió no pot efectuar cap gir, la distancia d'enlairament i les velocitats operacionals (i per tant, el punt on s'assoleixen els 400 ft) depenen significativament d'una sèrie de paràmetres com ara la massa a l'enlairament de l'avió, la longitud de pista etc. En alguns casos, si la pista és suficientment llarga, existirà un cert marge de velocitats operacionals a l'enlairament possible i per tant un cert marge de distàncies on els 400 ft s'assoleixen).

Així doncs, en aquest projecte cerquem i calculem les distàncies i velocitats d'enlairament necessàries per a diferents tipus de vols. L'estudi es focalitza a l'aeroport de Girona-Costa Brava i també en un aeroport ideal amb una pista d'una llargada infinita i sense obstacles, per tal de comparar-ho amb la pista de Girona i poder conèixer les limitacions que aquesta suposa. L'estudi es realitza

sobre 5 destinacions típiques de l'aeroport gironí com són Frankfurt-Hahn, Roma-Ciampino, London-Stansted, Beauvais-Tillé i Helsinki-Vantaa. En la simulació d'aquests vols es prenen els models d'aeronaus d'Airbus A320 i A321.

Les simulacions es duen a terme mitjançant el programari PEP (*Performance Engineering Program*) desenvolupat per Airbus. D'aquest se n'extreuen tots els paràmetres i dades de *performance* necessàries per tal de realitzar l'estudi. De totes maneres, tenint en compte la gran quantitat de càlculs a realitzar, l'ús del PEP es farà de manera automàtica mitjançant una sèrie d'*scripts* que permetin la generació automatitzada de fitxers d'entrada i el processament automatitzat de les sortides del PEP i la posterior generació de resultats.

Aquesta memòria s'organitza de la manera següent: en el capítol 2 presentem els casos d'estudi considerats: models d'avió, aeroports, etc. En el capítol 3 es fa una introducció dels límits operacionals a l'enlairament. Seguidament, en el capítol 4, exposem tot el procediment seguit amb el PEP. En el capítol 5 mostrem l'automatització del procés de generació i processament de dades. Per acabar, en l'últim capítol, el 6, s'ensenyen els resultats de l'estudi i se n'extreuen les pertinents conclusions.

2. CASOS D'ESTUDI CONSIDERATS

2.1 Models d'avió

L'Airbus A320 és un avió civil de passatgers d'Airbus, d'un sol passadís i de curt a mig abast. Va ser el primer model d'avió amb comandaments electrònics *fly-by-wire*, de manera que el pilot controla les parts mòbils de l'avió a través de l'ús d'impulsos electrònics en comptes de mitjançant palanques i sistemes hidràulics. D'aquest model van derivar posteriorment les versions escurçades A318 i A319 i la versió allargada A321. Amb més de 2600 unitats construïdes, és el segon aparell en nombre de vendes, després del Boeing 737, el seu rival més proper. [18]

Com hem vist, l'A321 és una versió allargada del 320, amb canvis mínims. La superfície alar s'allarga lleugerament i el tren d'aterratge és més reforçat. És equivalent al model B757 de Boeing.

És important mencionar també les diverses opcions ofertes als avions estudiats de configuració dels elements hipersustentadors a l'enlairament (slats i flaps). És un paràmetre utilitzat durant tot l'estudi i per tant és imprescindible identificar-lo acuradament.

Hi ha 6 opcions de configuració possibles definides a la Taula 2.1:

Taula 2.1. Configuracions d'enlairament (Font: [26])

	SLATS (°)	FLAPS (°)
Configuració Neta	0	0
CONF 1	18	0
CONF 1+F	18	10
CONF 2	22	15
CONF 3	22	20
Full	27	40

A la Taula 2.2 hi consten les especificacions del model A320 i del model A321.

Taula 2.2. Característiques tècniques de l'A320 i l'A321 (Font: [21])

	A320	A321
Capacitat de passatgers:	148 - 180	185 - 220
Longitud:	37.57 m	44.51 m
Envergadura:	34.10 m	34.10 m
Alçada:	11.76 m	11.76 m
Superfície alar:	122.6 m ²	122.6 m ²
Amplada del fuselatge:	3.95 m	3.95 m

Amplada de la cabina (de passatgers):	3.70 m	3.70 m
Longitud de la cabina:	27.51 m	34.44 m
Pes buit:	42400 Kg	48200 Kg
Màxim pes a l'enlairament:	77000 Kg	93500 Kg
Capacitat de combustible:	29680 litres	29680 litres
Capacitat de càrrega:	16.6 tn	21.2 tn
Velocitat creuer:	Mach 0.82 (900 Km/h, 485 kt)	Mach 0.82 (900 Km/h, 485 kt)
Autonomia:	5600 Km (3025 NM)	5600 Km (3025 NM)
Sostre de servei:	12000 m	12000 m
Empenta unitària (x2):	120 kN	150 kN

2.2 Costos d'operació

Els costos d'operació d'una aeronau van íntimament lligats al valor del *Cost Index (CI)*, que és un paràmetre que selecciona l'operador aeri i que relaciona el cost del temps de vol en front del cost de combustible:

$$CI = \frac{\text{Cost Temps}}{\text{Cost Carburant}} \text{ Kg}/\text{min} \quad (2.13)$$

D'aquesta manera, el cost total del vol s'expressa mitjançant la següent relació:

$$C = F + CI \cdot T \quad (2.14)$$

on F és el combustible necessari pel vol i T el temps de vol.

L'operador realitzarà una operació on es minimitzi C per un valor de CI determinat i fixat a priori en funció de la seva estructura de costos. Aquesta optimització determinarà els perfils d'ascens, velocitats de creuer, nivells de vol de creuer i perfils de descens necessaris per realitzar un determinat vol.

Els valors de CI considerats en aquest estudi són: 0, 30, 60 i 90 Kg/min. I els valors de *payload* són: 70, 75, 80, 85, 90, 95 i 100 %.

2.3 Aeroport de sortida: Girona-Costa Brava

L'aeroport de Girona-Costa Brava (Figura 2.1), és ubicat a Vilobí d'Onyar (la Selva), a 13 Km de la ciutat de Girona, donant servei a tota la Costa Brava, i a 100 Km de la ciutat de Barcelona. Actualment és un dels aeroports que més creixement ha experimentat en els últims anys, degut fonamentalment al fet de ser una de les principals bases de la companyia Ryanair a Europa. El 2010 va

more 4,863,785 passatgers i 63.47 tones de càrrega i va gestionar 43290 operacions. [18]

Codis de l'aeroport: IATA: GRO
ICAO: LEGE



Fig. 2.1. Pistes de l'aeroport de Girona. (Font: [18])

2.3.1 Dades de la pista d'enlairament

Les dades que es mostren a la Taula 2.3 són les que el PEP demana per tal de definir la pista de la que partirem en cada ruta i han estat extretes de l'AIP (Publicació d'Informació Aeronàutica) de Girona. [20]

Taula 2.3. Dades de la pista RWY02 (Font: [20])

Identificació	RWY02	
Elevació geomètrica	466 ft	
TORA	2400 m	
TODA	2460 m	
ASDA	2400 m	
LDA	2400 m	
Inclinació	1.05%	
Declinació magnètica	0°E (2010)	
Coordenades del llindar	Latitud	415341.69N
	Longitud	024529.73E

Els obstacles que hem tingut en compte a l'hora de fer els càlculs amb el PEP són els que marca la normativa EU-OPS 1 Subpart G. [14]

Aquesta anuncia que:

- L'operador ha de garantir que la trajectòria neta de vol d'enlairament permeti salvar tots els obstacles, com a mínim, amb un marge vertical de 35 ft, o amb un marge horitzontal de 90 m més $0.125 \times D$, on D és la

distància horitzontal recorreguda per l'avió des de l'extrem de la distància d'enlairament disponible.

- No es permetran canvis de rumb fins al punt en què la trajectòria neta de vol d'enlairament hagi arribat a una alçada igual a la meitat de l'envergadura, però no menys de 50 ft per sobre de l'elevació de l'extrem del recorregut d'enlairament disponible. Després, s'assumeix que, fins a una alçada de 400 ft l'avió no alabeja més de 15°. Per sobre d'una alçada de 400 ft es podran programar angles d'alabeig majors de 15°, però no majors de 25°.
- Qualsevol part de la trajectòria neta de vol d'enlairament en què l'avió estigui virant amb un angle d'alabeig de més de 15°, haurà de franquejar tots els obstacles en els marges horitzontals que s'especifiquen en aquesta normativa, i amb un marge vertical de 50 ft com a mínim.

A la Figura 2.2 es pot observar la posició dels obstacles que ens afecten a la sortida de la pista RWY02. L'àrea vermella és la que es defineix aplicant la normativa EU-OPS anunciada anteriorment i per tant la que marca el límit dels obstacles a considerar.



Fig. 2.2. Detalls dels obstacles i de l'àrea EU-OPS

Per veure els obstacles que són dins l'àrea definida per EU-OPS veure la Taula A.2 de l'Annex A.

S'ha de tenir en compte que l'elevació dels obstacles és considerada respecte el nivell del mar (SL) i que l'elevació de la pista al començament de la TORA és de 122.86 m i té una inclinació de 1.05%.

El nombre d'obstacles que estan implicats en l'operació d'enlairament a la pista RWY02 és 20. Per a veure la llista completa d'obstacles que afecten l'aeroport de Girona i el mètode seguit per a introduir-los al Google Earth, consultar la Taula A.1 de l'Annex A.

2.4 Destinacions considerades

La raó per la qual, en el nostre estudi hem considerat aquestes destinacions, és perquè aquestes són les habituals i més comunes dels operadors típics de l'aeroport de Girona.

2.4.1 Aeroport de Roma-Ciampino

L'aeroport de Roma-Ciampino (Figura 2.3) o Aeroport Giovanni Battista Pastine és un aeroport italià d'ús mixt civil - militar situat a Roma, Lazio. L'aeroport és situat al sud-est del centre de Roma, just por fora de la *Grande Raccordo Anulare* (via de circumval·lació de Roma).

Ciampino es un aeroport bastant petit, degut a la seva proximitat a la ciutat de Roma, però gracies al tràfic de les companyies de baix cost és un dels més congestionats d'Itàlia. El 2008 van transitar 4,788,931 passatgers. Les terminals aeroportuàries van ser ampliades a principis del 2007.[18]

Codis de l'aeroport: IATA: CIA
ICAO: LIRA

En el nostre estudi l'aeroport alternatiu a Ciampino és Siena- Ampugnano.



Fig. 2.3. Pistes de l'aeroport de Ciampino. (Font: [18])

2.4.3 Aeroport de Frankfurt-Hahn

L'aeroport de Hahn (Figura 2.4) es troba situat al centre d'Europa a les rodalies de Lautzenhausen, Renània-Palatinat (Alemanya). Tot i el seu nom, l'aeroport es troba a 120 Km a l'oest de la ciutat de Frankfurt.

Ryanair començà els seus primers vols des de Hahn l'any 1999 i avui en dia aquest és el principal hub de la companyia irlandesa a l'Europa continental, situat a la tercera posició darrere de Londres-Stansted i l'aeroport de Dublín. A l'actualitat gairebé 3 milions i mig de passatgers el fan servir cada any, cosa que el situa per sobre de molts altres aeroports alemanys. [18]

Codis de l'aeroport: IATA: HHN
ICAO: EDFH

L'alternatiu que utilitzarem per a aquest aeroport és Dortmund.



Fig. 2.4. Pistes de l'aeroport de Hahn. (Font: [18])

2.4.4 Aeroport de London-Stansted

L'aeroport de Londres-Stansted (Figura 2.5) és un dels 5 aeroports de Londres. És a Essex a 50 Km al nord-est de la capital anglesa per l'autopista entre Londres i Cambridge.

La pista d'aterratge fa 3050 m i hi ha un pla d'ampliacions que preveu crear 3 pistes més. Londres-Stansted és usat majoritàriament per línies aèries de baix cost com Ryanair, EasyJet, Germanwings i Air Berlin. A banda d'aquestes, són usuàries freqüents companyies de càrrega com Volga – Dnjepr i FedEx. [18]

Codis de l'aeroport: IATA: STN
ICAO: EGSS

L'alternatiu a Stansted és Londres-Heathrow.



Fig. 2.5. Pistes de l'aeroport de Stansted. (Font: [18])

2.4.5 Aeroport de Helsinki-Vantaa

L'aeroport d'Helsinki- Vantaa (Figura 2.6) es troba a Vantaa, a 19 Km del centre d'Helsinki, la capital finlandesa. És l'aeroport més important del país, i també un dels més transitats. Avui en dia compta amb uns 13 milions de passatgers anuals. L'aeroport va ser construït el 1952.

Helsinki-Vantaa té 2 terminals: la nacional, per unir amb avió Helsinki i d'altres llocs de Finlàndia, i la internacional. És a més a més el hub de Finnair i Blue1. [18]

Codis de l'aeroport: IATA: HEL
ICAO: EFHK

L'alternatiu que utilitzarem a Vantaa és Tampere-Pirkkala.



Fig. 2.6. Pistes de l'aeroport de Vantaa. (Font: [18])

2.4.6 Aeroport de Beauvais-Tillé

L'aeroport de Beauvais-Tillé (Figura 2.7) és un aeroport civil que es troba a la comunitat de Tillé, 3.5 Km al nord-est de Beauvais a uns 80 Km al nord de París. L'aeroport té una elevació de 109 m. En aquest aeroport operen companyies de baix cost, principalment Ryanair, amb destinacions a tota Europa. [18]

Codis de l'aeroport: IATA: BVA
ICAO: LFOB

Utilitzarem com a aeroport alternatiu de Beauvais Lille-Lesquin.



Fig. 2.7. Pistes de l'aeroport de Beauvais. (Font: [18])

2.4.7 Distàncies

Les distàncies que recorrem des de l'aeroport de Girona fins a les diferents destinacions són les que consten a la Taula 2.4.

Taula 2.4. Distàncies de les rutes

Aeroport de destinació		Aeroport alternatiu	
Girona – Ciampino (LIRA)	525 NM	Ampugnano (LIQS)	184 NM
Girona – Beauvais (LFOB)	592 NM	Lesquin (LFQQ)	147 NM
Girona – Stansted (EGSS)	758 NM	Heathrow (EGLL)	147 NM
Girona – Hahn (EDFH)	772 NM	Dortmund (EDLW)	139 NM
Girona – Vantaa (EFHK)	1490 NM	Tampere (EFTP)	109 NM

Per a veure tots els detalls dels punts i distàncies recorregudes en les rutes, consultar l'Annex B.

3. LÍMITS OPERACIONALS A L'ENLAIRAMENT

Per tal de calcular les distàncies d'enlairament d'una aeronau s'ha de considerar la normativa EU-OPS [14]. L'esmentada normativa identifica els obstacles a considerar en la maniobra d'enlairament així com indica la necessitat que l'avió assoleixi els 400 ft d'alçada abans d'iniciar qualsevol procediment d'atenuació de soroll.

La informació que consta en aquest apartat ha estat extreta del llibre *Aerodinámica y actuaciones del avión* d'I. A. Carmona [15].

3.1 Velocitats característiques a l'enlairament

Durant tota la maniobra d'enlairament les velocitats van variant constantment, és per això que en aquesta fase del vol hi ha diverses velocitats importants que han de complir unes condicions determinades. L'objectiu de definir i quantificar aquestes velocitats és, per una banda, normalitzar l'operació, així com fer l'operació d'enlairament de la forma més segura possible, fins i tot en el cas de fallada de motor.

Motor crític: Segons les FAR/JAR el motor crític és aquell la fallada del qual afectaria de forma més adversa a les actuacions de l'avió o a les seves qualitats de vol, com seria, per exemple, un dels motors més allunyats del centre de gravetat d'un quadrimotor, independentment de que el motor que falli estigui situat a la dreta o a l'esquerra.

3.1.1 Velocitat V_1

També anomenada velocitat de decisió (encara que algunes normatives ja no utilitzen tal denominació) es defineix com aquella velocitat en que si un motor falla abans d'assolir-la, el pilot ha d'avortar l'enlairament, mentre que si la fallada es produeix després d'assolir-la, l'avió ha d'enlairar-se, encara que immediatament després realitzi una maniobra d'aproximació per tal de tornar a aterrar. Aquesta velocitat no només fixa el moment de la decisió, avortar o continuar amb l'enlairament, sinó que també té en compte el temps que porta al pilot efectuar la primera acció per a frenar l'avió:

$$V_1 = V_{EF} + (\Delta V)_{t_{act1}} \quad (3.1)$$

on V_{EF} és la velocitat de fallada del motor crític (*Engine Failure*) i $(\Delta V)_{t_{act1}}$ és la velocitat guanyada en el temps t_{act1} (entre l'instant en que es produeix la fallada del motor crític i la reacció i reconeixement de la fallada per part del pilot).

En el cas que la decisió fos continuar amb l'enlairament, el pilot ha de ser capaç de controlar l'avió durant el recorregut del terra amb el motor crític aturat, és per això que s'exigeix:

$$V_{EF} \geq V_{MCG} \quad (3.2)$$

on V_{MCG} es defineix com la velocitat mínima a partir de la qual l'avió és controlable al terra. Per tant:

$$V_1 \geq V_{EF} \geq V_{MCG} \quad (3.3)$$

3.1.2 Velocitat mínima de control al terra (V_{MCG})

En cas que durant l'operació d'enlairament falli en qualsevol moment el motor crític de l'aeronau, segons la normativa aeronàutica corresponent, s'ha de poder controlar l'avió utilitzant únicament els controls aerodinàmics, si és que es continua amb la maniobra d'enlairament. Aquest control però, no serà possible fins que l'avió hagi assolit una mínima velocitat anomenada V_{MCG} .

Aquesta velocitat és funció de la temperatura, de l'altitud pressió, de la configuració de flaps i del component de vent creuat. S'aconsegueixen valors de V_{MCG} elevats quan la temperatura i la pressió altitud són baixes i quan la configuració de flaps és de pocs graus. Com més propers es trobin situats els motors de l'eix longitudinal de l'aeronau menor serà el valor de V_{MCG} .

Com es pot deduir, és positiu que tal velocitat tingui un valor el més petit possible, ja que significarà que poc temps posterior a l'inici del rodatge de l'avió, aquest tindrà control aerodinàmic.

3.1.3 Velocitat de pèrdua (V_S)

Es defineix com la mínima velocitat a la que l'avió pot mantenir el vol per raons aerodinàmiques. Aquesta velocitat surt de l'equació de la sustentació,

$$L = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_L \quad (3.4)$$

on L és la sustentació, ρ la densitat de l'aire, V la velocitat de l'avió, S la superfície alar i C_L el coeficient de sustentació.

La sustentació màxima que es pot aconseguir per a una determinada condició de vol, serà per al màxim del coeficient de sustentació $C_{L_{m\grave{a}x}}$. Això s'explica pel fet que el coeficient de sustentació augmenta progressivament amb l'angle d'atac fins que arriba un moment, a partir d'un cert angle d'atac per al que s'arriba al coeficient de sustentació màxim, i la distribució de pressions que origina la sustentació deixa d'existir, desapareixent per tant tal sustentació.

Així la velocitat de pèrdua serà

$$V_S = \sqrt{\frac{2L}{\rho S C_{L_{m\grave{a}x}}}} \quad (3.5)$$

Tenint en compte la dependència d'aquesta velocitat de pèrdua amb la sustentació es defineix:

$-V_{S1g}$, que correspon a la velocitat de pèrdua quan el factor de càrrega és igual a la unitat, és a dir, en vol horitzontal i rectilini quan la sustentació és igual al pes de l'avió.

3.1.4 Velocitat de rotació (V_R)

Es defineix com la velocitat mínima a la que pot aixecar-se la roda de morro de la pista i per tant, és la velocitat a la que s'ha de començar a estirar de la palanca de control del capcineig per tal de començar a aixecar el morro de l'avió. Es tracta d'una velocitat operativa de gran importància on és necessari calcular degudament el seu valor amb exactitud. Efectuar la rotació a una velocitat que no es correspongui a la correcta pot afectar considerablement la distància d'enlairament i la trajectòria de pujada inicial de l'avió. Rotant l'avió a velocitat inferior s'assoleix un angle d'ascens menor i per tant una trajectòria d'ascens que no correspon a la prefixada. A més, fins i tot pot ser que s'intenti enlairar l'avió per sota la velocitat de pèrdua, amb el perill evident que això comporta. Per contra, rotant-lo a velocitat superior, l'avió deixarà el terra a un punt més enllà del previst i la trajectòria anirà per sota de l'establerta amb el consegüent risc d'un mal franquejament d'obstacles.

També s'ha de tenir en compte l'actitud de l'avió en el moment de realitzar la rotació. Una rotació molt ràpida col·loca l'avió en una actitud de morro amunt exagerada, fet que afectarà negativament les actuacions a l'enlairament (augmentarà la resistència aerodinàmica).

Certament hi hauria d'haver 2 velocitats de rotació: una en el cas que no falli cap motor i l'altra pel cas de fallada de motor, però només es treballa amb una per a simplificar la labor al pilot.

La V_R compleix que:

$$V_R \geq V_1 \quad (3.6)$$

$$V_R \geq 1.05 V_{MCA} \quad (3.7)$$

3.1.5 Velocitat mínima de control a l'aire (V_{MCA})

Es defineix com la velocitat a la qual l'aeronau té control aerodinàmic. Si falla un motor a l'aire es produeix una guinyada i com més velocitat porti l'avió més efectius seran els controls aerodinàmics per tal de rectificar-lo complint les condicions que marca la normativa.

El valor de V_{MCA} depèn de l'altitud, la temperatura i el pes. Concretament disminueix quan augmenta la temperatura o l'altitud pressió, de la mateixa manera que la velocitat V_{MCG} . Tal fet és així perquè encara que el timó de direcció sigui menys efectiu per la menor densitat de l'aire, l'empenta dels motors disminueix més ràpidament.

Aquesta velocitat ha de complir que:

$$V_{MCA} \leq 1.13 V_{S1g} \quad (3.8)$$

3.1.6 Velocitat d'enlairament (V_{LOF})

Es defineix com la velocitat a la qual l'avió enlaira el tren principal del terra. No té un paper operacional concret, ja que la velocitat que condiciona l'operació d'enlairament és la V_R , però evidentment és la velocitat que marcarà en gran mesura les *performances* d'ascens de l'avió.

Aquesta velocitat compleix l'equació 3.9 pel cas de tots els motors operatius i la 3.10 pel cas d'un motor inoperatiu.

$$V_{LOF} \geq 1.1 V_{MU} \quad (3.9)$$

$$V_{LOF} \geq 1.05 V_{MU} \quad (3.10)$$

3.1.7 Velocitat V_{MU} (*Minimum Unstick*)

Es defineix com la velocitat a la que l'aeronau té suficient sustentació. La velocitat a la que és possible aixecar l'avió del terra, i mantenir un angle d'ascens positiu, sense que es derivin conseqüències desastroses en l'execució del vol. S'ha de determinar el seu valor per als casos de tots els motors operatius i d'un motor inoperatiu. Òbviament s'ha de complir que:

$$V_{MU} > V_S \quad (3.11)$$

3.1.8 Velocitat de seguretat a l'enlairament (V_2)

Es defineix com la mínima velocitat que s'ha d'assolir quan l'avió es troba a una alçada de 35 ft sobre el llindar de la pista.

Per tant és la velocitat amb la que es realitza la pujada inicial, el 2n segment, en el cas d'un motor inoperatiu. En el cas de tots els motors operatius, doncs, es puja a $V_2 + \Delta V kt$ (amb $\Delta V \sim 10 kt$ en la majoria dels casos). Així si en una operació amb un motor inoperatiu, la velocitat al 2n segment és superior a V_2 però inferior a $V_2 + 10 kt$, es manté la velocitat i no és necessari retornar a V_2 .

La velocitat V_2 ha de complir el següent marge respecte la V_{MCA} :

$$V_2 \geq 1.1 V_{MCA} \quad (3.12)$$

3.2 Distàncies a l'enlairament

Veiem quines són les distàncies necessàries per a que un avió efectui l'operació d'enlairament de forma segura. Aquestes distàncies són característiques de l'avió.

La normativa diferencia el cas en que la pista és seca i quan aquesta es troba molla i agafa com a distància final la més restrictiva de les dues. En el nostre cas només considerem el cas de pista seca ja que fem l'estudi únicament en aquesta situació.

Primer definim les 2 zones importants en la prolongació de l'eix de la pista:

-Stop-way (SWY):

És una àrea rectangular definida en el terreny situada a continuació del recorregut d'enlairament disponible, d'ample mínim igual al de la pista, amb superfície adequada per a que es pugui aturar l'avió després d'un enlairament interromput.

-Clearway (CL):

És una àrea rectangular d'ample no inferior als 75 m, a cada costat de l'eix de la pista, situada a continuació del recorregut d'enlairament disponible i preparada com a àrea adequada sobre la que l'avió pugui efectuar part de l'enlairament inicial fins l'alçada especificada. Pot ser sobre terra o aigua, i està limitada per un pla que s'eleva amb un pendent màxim de l'1.25% i per sobre del qual no pot sobresortir cap obstacle. La seva longitud no ha de ser major que la meitat del recorregut d'enlairament disponible.

3.2.1 Distàncies declarades

Les distàncies declarades són característiques de la pista. La ICAO exigeix que les autoritats aeronàutiques de cada país proporcionin les dades necessàries per a que els explotadors puguin complir les limitacions d'utilització de l'aeròdrom. Part d'aquestes dades són les distàncies TORA, TODA i ASDA. [16]

- TORA: Recorregut d'enlairament disponible. La longitud de pista declarada és la longitud disponible i en condicions per a la realització del recorregut en terra d'un avió en enlairament.
- TODA: Distància d'enlairament declarada. És la TORA més la longitud del *clearway* a continuació de la mateixa.
- ASDA: Distància d'acceleració-parada declarada. Es tracta de la TORA més la distància de l'*stop-way*.

A la Figura 3.1 s'observen diferents tipus de pista segons les distàncies declarades.

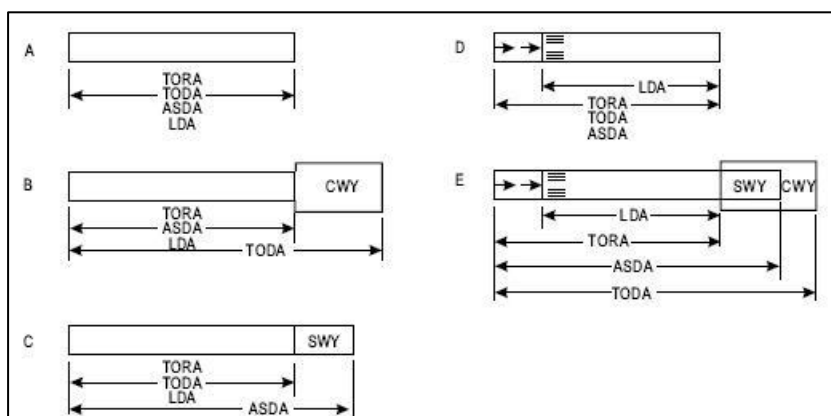


Fig. 3.1. Distàncies declarades de pista. (Font: [17])

3.2.2 Distància d'enlairament (TOD)

Es defineix com la distància resultant d'augmentar un 15% la necessària per a que l'avió es trobi a una alçada de 35 ft sobre la superfície de la pista, en condició de tots els motors operatius. En cas de fallada de motor és senzillament la distància recorreguda des de la deixada de frens fins arribar als 35 ft d'alçada suposant que el motor crític ha fallat a V_{EF} i el pilot ho ha reconegut a V_1 .

Sent així la longitud de pista ha de ser al menys l'1.15 de la carrera d'enlairament. La resta de la distància pot ser *clearway* amb l'única limitació de no ser major que la meitat de la diferència entre la distància i l'1.15 de la carrera d'enlairament.

3.2.3 Carrera d'enlairament (TOR)

Es defineix com l'1.15 de la distància horitzontal recorreguda des de la deixada de frens fins a un punt equidistant entre el que s'assoleix la V_{LOF} i aquell altre on s'arriba als 35 ft d'alçada, suposant tots els motors operatius. Per al cas de fallada de motor és exactament aquesta distància recorreguda, com sempre suposant que el motor crític ha fallat a V_{EF} i el pilot se n'ha adonat a V_1 . Per tant és la distància TOD sense tenir en compte el *clearway*. La carrera d'enlairament ha d'estar pavimentada.

3.2.4 Distància d'acceleració-parada (ASD)

Es defineix com la distància requerida per a que l'aeronau pugui aturar-se en cas de fallada de motor abans de V_1 . Així, la longitud de pista és TOR i la resta de l'ASD un *stop-way*, dins del *clearway* que arriba fins la TOD.

3.3 Trajectòria d'enlairament. Segments típics

La trajectòria d'enlairament, comença des del moment de la deixada de frens fins que l'avió arriba al menys a 1500 ft sobre la pista i la configuració i velocitat són les corresponents al segment final.

El primer segment correspon al tram de l'enlairament que va des de la deixada de frens fins que es replega el tren d'aterratge, sobrepassats els 35 ft d'alçada i on l'avió arriba com a mínim a la velocitat V_2 (en cas de fallada motor) o típicament a $V_2 + 10kt$ en cas de tenir tots els motors operatius. El segon segment és des d'aquest moment fins que s'arriba al menys a 400 ft, on l'avió realitza l'ascens a velocitat constant (V_2 o V_2+10kt). El tercer segment es destina a accelerar l'avió per tal de començar a replegar els dispositius hipersustentadors (flaps/slats). Típicament el gradient d'ascens es redueix (degut a que la potència dels motors s'empra per accelerar l'avió i no per pujar) i la normativa permet fins i tot fer un segment en vol horitzontal sense guanyar alçada. Per últim es continua l'ascens en el segment final amb l'avió en configuració neta (flaps i slats recollits) i fins arribar al menys a 1500 ft, on l'enlairament es dona per acabat i típicament es realitza una reducció de potència de motors. (Veure Figura 3.2)

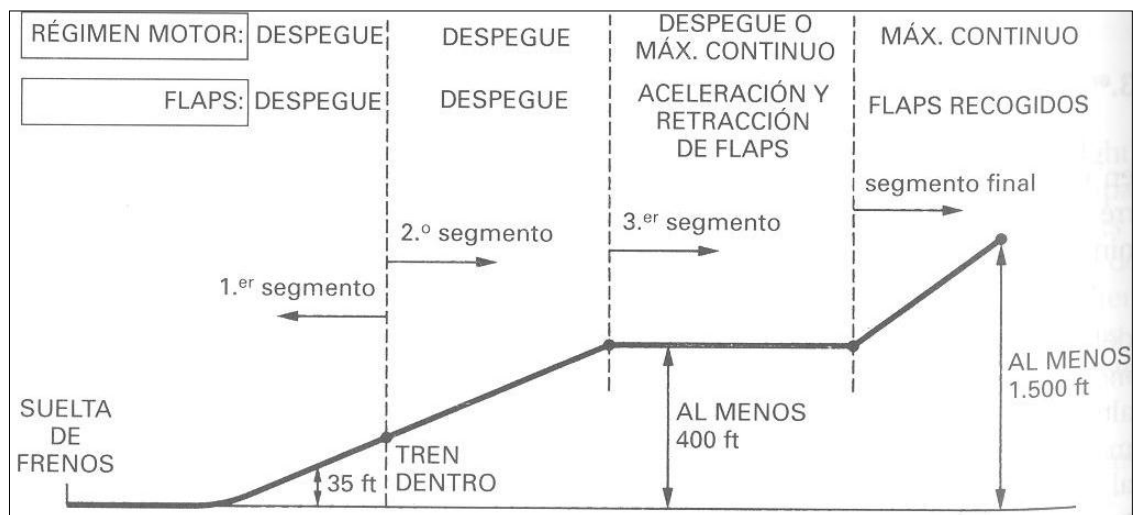


Fig. 3.2. Detall de la trajectòria d'enlairament. (Font: [17])

3.4 Limitacions a l'enlairament

A continuació es mostren 2 gràfics amb les limitacions de massa a l'enlairament (veure Figura 3.3 i 3.4) [17]:

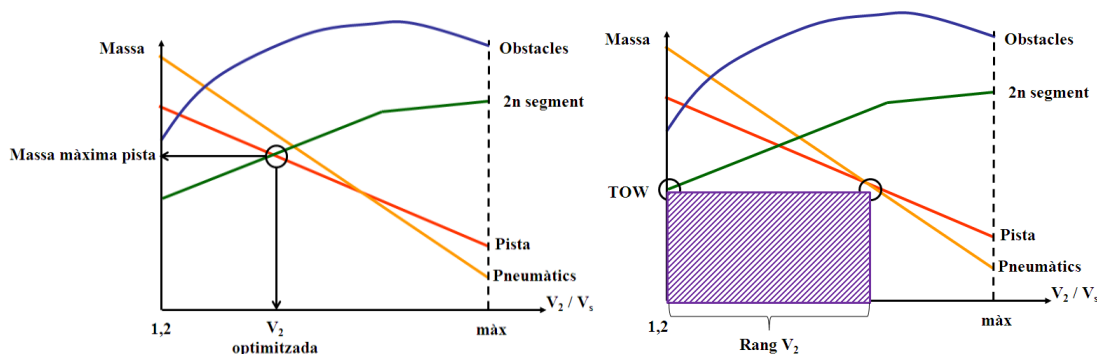


Fig. 3.4. Massa màxima a l'enlairament

Fig. 3.3. Limitacions de massa

A la Figura 3.3 es mostra la massa màxima a l'enlairament o MTOW (*Maximum Take Off Weight*). Considerant totes les limitacions a l'enlairament, la màxima massa possible és aquella que no viola cap limitació, tal i com es mostra en el gràfic. En aquest exemple les limitacions són la longitud pista i el 2n segment. A la Figura 3.4 s'exemplifica el cas d'una massa qualsevol (que no és la màxima) i que abasta un rang de V_2 possibles a escollir per l'operador.

En el cas d'un enlairament amb MTOW el valor de V_2 queda fixat a un sol valor possible que és l'optimitzat (el càlcul d'aquesta V_2 el realitza el mòdul TLO del PEP tal i com es veu en el següent capítol). Tot i això, la majoria de vegades, els operadors no volen a aquesta massa màxima sinó a una massa inferior o

TOW (*Take Off Weight*), per tant, tal i com es veu al gràfic existirà un marge de possibles V2 vàlides segons la normativa. Aquest és l'objectiu del treball, veure com aquest marge de velocitats afecta a la TOR, TOD i distància als 400 ft d'alçada i per tant donar l'opció a l'operador que esculli la millor V2 que minimitzi, per exemple, la distància als 400 ft que és on comença el procediment d'atenuació de soroll.

4. PROCEDIMENT PEP

Cal recordar que l'objectiu final d'aquest projecte és calcular i obtenir la distància respecte la capçalera de la pista a la qual les aeronaus assoleixen l'alçada de 400 ft i per tant seria possible començar a aplicar un procediment d'atenuació del soroll. Per tal d'obtenir aquesta distància utilitzarem el programa PEP d'Airbus, que permet fer càlculs operacionals per a diferents tipus d'avions.

4.1 Introducció al PEP

La informació que compon aquest subapartat ha estat extreta de l'*Airbus Performance Program Manual* [19].

El PEP (*Performance Engineering Program*) és un paquet de programes d'Airbus englobats per una interfície d'usuari gràfica comuna i que ofereix diverses eines específiques pel càlcul de *performance* de les aeronaus.

A la Figura 4.1 veiem l'aspecte de la pantalla inicial del programa.

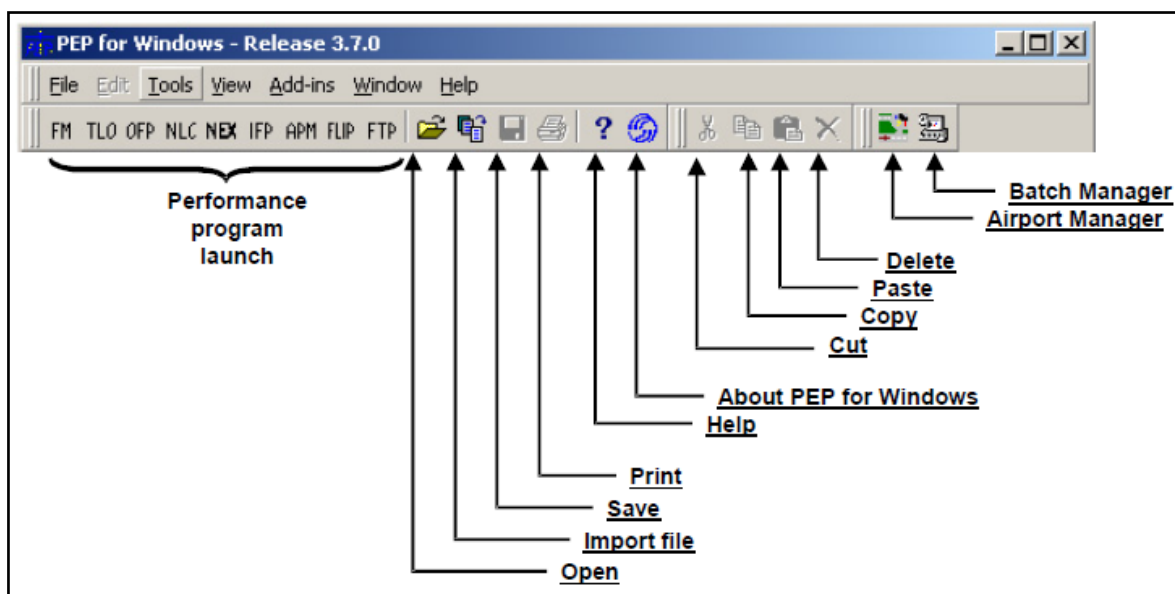


Fig. 4.1. Pantalla inicial del PEP (Font: [19])

A continuació fem una breu introducció de les eines disponibles al PEP.

- **FM (*Flight Manual*)**

Permet la regulació de diversos paràmetres per a calcular les distàncies d'enlairament o els gradients del segon segment, així com les distàncies

d'aterratge necessàries. Per exemple, aquest mòdul permet calcular diverses dades reglamentàries com ara la TOD, la TOR, les velocitats V1, V2, Vs, Vr, etc.

- **TLO (*Take off and Landing Optimization*)**

Dedicat a les optimitzacions d'enlairament i aterratge. Aquest mòdul permet calcular el pes òptim en l'enlairament o l'aterratge, així com els paràmetres de *performance* associats a les característiques de la pista donades, tenint en compte les regulacions i els límits d'operació.

- **OFF (*Operational Flight Path*)**

Dedicat al càlcul operacional de la trajectòria de vol en l'enlairament o en l'aproximació. El mòdul produeix un text o sortides gràfiques. Aquest mòdul està dissenyat per a calcular les trajectòries operacionals, així com les trajectòries de vol específicament dissenyades per a l'anàlisi de soroll.

- **NLC (*Noise Level Computasion*)**

Eina de predicció de soroll que defineix diferents nivells de soroll, les rutes de vol òptim en termes de soroll i el soroll dels procediments específics que es determinin.

- **NEX**

Mitjançant els índexs d'exposició al soroll, aquest mòdul pot calcular un nivell d'exposició al soroll en llocs donats al voltant de l'aeroport. També pot calcular la corba que uneix els punts en tot l'aeroport sotmès a una exposició de soroll donat.

- **IFP (*In Flight Performance calculation*)**

L'IFP permet calcular instantàniament les *performances* d'una aeronau en vol. Cada fase de vol pot ser estudiada en funció de moltes condicions. Com a conseqüència d'això, el programa IFP és l'eina per establir les taules de *performance* de vol.

- **APM (*Aircraft Performance Monitoring program*)**

L'*Aircraft Performance Monitoring* és per comparar el nivell de *performance* de creuer respecte una base de referència donada.

- **FLIP (*FLight Planning*)**

El programa de pla de vol FLIP és una eina per calcular les dades de *performance* (pes, consum de combustible, temps transcorregut i distància) durant un vol sencer, i per condicions específiques d'entrada (condicions atmosfèriques, altitud de creuer, distància de vol ...).

- **FTP (*Fuel Temperature Prediction program*)**

El programa de predicció de temperatura del combustible (FTP) és una eina que fa prediccions de temperatura del tanc al llarg d'un vol, basant-se en les dades de *performances* i meteorològiques extretes d'un pla de vol operacional o d'una determinada sortida del FLIP combinat amb una base de dades d'informació meteorològica històrica.

- **Airport Manager**

L'*Airport Manager* ha estat dissenyat per a crear una base de dades on emmagatzemar totes les característiques d'un aeroport concret i les seves pistes (Figura 4.2).

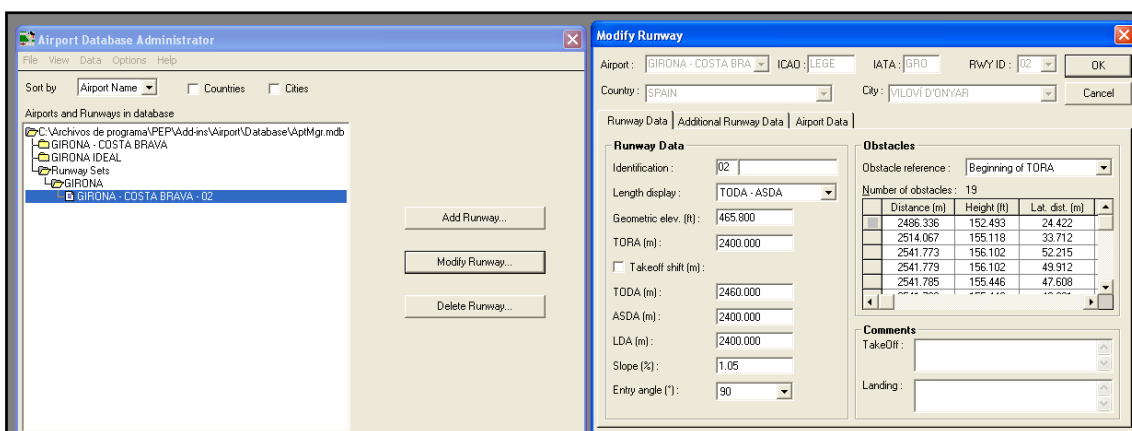


Fig. 4.2. *Airport Manager*

- **Batch Manager**

El PEP està pensat per a executar una única sessió. En el cas de tenir moltes sessions a executar existeix una eina com és el *Batch Manager*. Aquesta permet executar diverses sessions automàticament de forma correlativa. A l'hora d'utilitzar-la nosaltres hem carregat i executat màxim unes 70 sessions de cop, ja que és una quantitat manejable i assumible per al computador i sistema amb el que hem treballat. Fer-ho amb un nombre major de sessions representaria un excés per a l'ordinador i no duria a terme la tasca correctament.

L'aparença que té el programa al carregar diverses sessions és la que es mostra a la Figura 4.3.

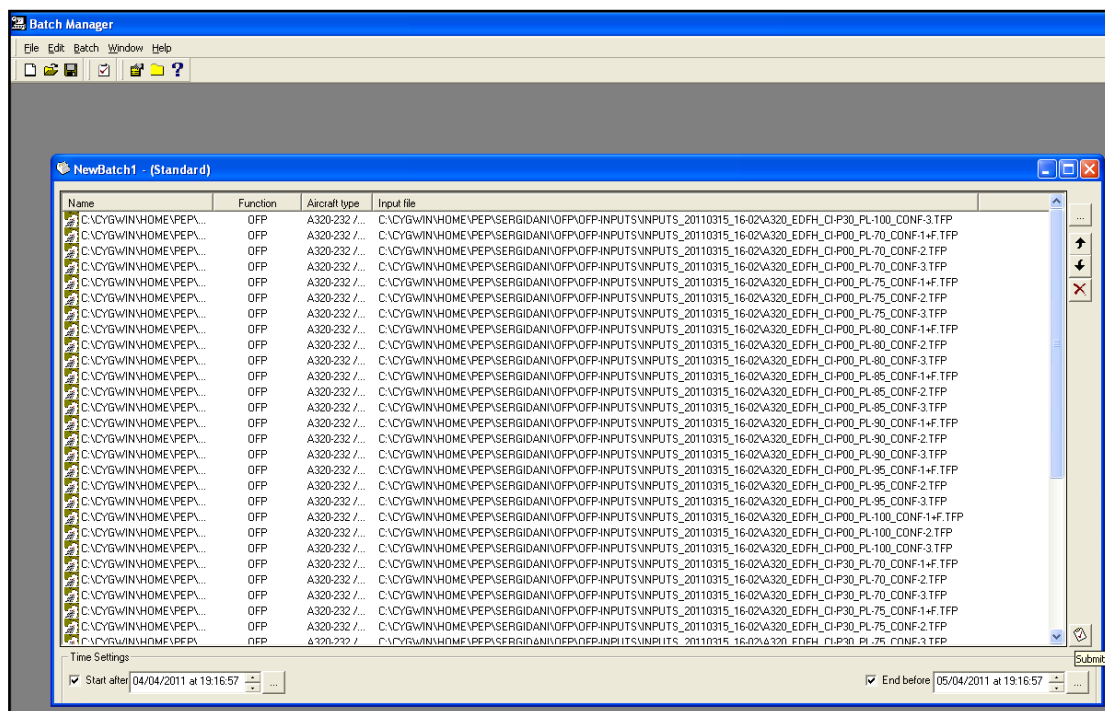


Fig. 4.3. Batch Manager

4.2 Treball amb els mòduls del PEP

Abans de començar a fer funcionar els mòduls del PEP, necessitem definir el conjunt de dades d'entrada necessàries. Aquestes dades són les referents a les pistes de l'aeroport de Girona, les distàncies recorregudes fins als aeroports de destinació i els obstacles que tenim en la ruta d'enlairament de la pista RWY02. Així doncs, s'introdueixen al PEP totes les dades descrites en el capítol .

A més a més, també treballarem suposant un cas ideal on no estem limitats per la pista ni els obstacles. En aquest cas, hem introduït al PEP una longitud de pista de 5000 metres, que és el màxim que deixa introduir, amb una inclinació i elevació nul·les. El nombre d'obstacles a tenir en compte, en aquest cas ideal és de 0.

4.2.1 TLO: Càlcul de les masses màximes d'enlairament

Primerament el que volem aconseguir són les masses màximes amb que podem operar amb els avions A320 i A321 a la pista de Girona RWY02.

Per aconseguir-ho farem servir el mòdul del PEP TLO. En aquest mòdul introduïm les dades de la pista RWY02 i ens torna les masses màximes amb que podem operar en funció de la configuració d'enlairament i les velocitats V1, V2 i Vr. També calcularem les masses màximes amb que operen aquest avions en un cas ideal. Un cop obtenim les masses per als dos casos les comparem i així veiem les limitacions que tenim a la pista RWY02 provocades per les longituds d'aquesta i els obstacles en la sortida.

Un cop introduïdes les dades de la pista (mitjançant l'*Airport Manager*), fem que el programa realitzi una escombrada de velocitats per tal de tenir diverses masses màximes en funció d'aquestes velocitats. Realitzem l'escombrada de velocitats en funció de V2/Vs i els valors entre els que la realitzem van des d'1.13 fins a 1.4, que són el mínim i el màxim que el TLO deixa introduir. A l'hora d'escollir la configuració d'enlairament, agafem l'opció *CONF optimization* de les 4 que ofereix el PEP (1+F, 2, 3 i *optimization*). Aquesta opció sempre escollirà la configuració d'enlairament que permeti tenir la massa màxima més gran.

De la resta de paràmetres que es poden modificar, deixem el seu valor per defecte. (Figura 4.4)

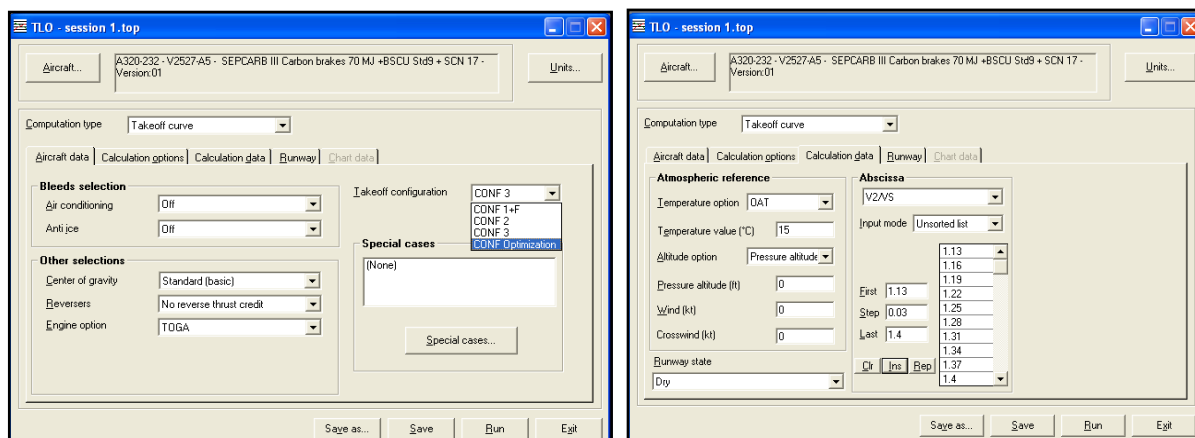


Fig. 4.4. Interfície del TLO: *Aircraft data* i *Calculation data*

Resultat d'exemple: a continuació presentem un extracte del resultat d'una execució de dades amb el mòdul TLO del PEP, on es veuen les dades de sortida per a determinats valors de V2/Vs per un Airbus A321 amb una massa a l'enlairament de 100000 Kg¹ i una configuració d'enlairament optimitzada. (Figura 4.5)

¹ Notar que el valor del pes a l'enlairament de l'Airbus A321 en les simulacions del PEP és major que l'especificat a la Taula 2.2, ja que en el programa s'utilitza el submodel A321-231 V2533-A5 – MB/BFG brakes 85MJ +SCN 17 mentre que a la taula d'especificacions es dona un valor genèric.

CALCULATION NAME : TAKE-OFF OPTIMIZATION

FOR INFORMATION ONLY

02-DEC-10

ABSCISSA CALCULATION

V2/VS	MAX WEIGHT	OPT CONFIG	1ST SEG W	2ND SEG W
	KG		KG	KG
1.200	97448.9	1.	104727.8	97448.9
1.210	98091.3	1.	105048.1	98091.3
1.220	98689.7	1.	105344.8	98689.7
1.230	99242.3	1.	105649.4	99242.3
1.240	99774.9	1.	105917.2	99774.9

V2/VS	LIM COD1	V1M	LIM COD2	V1M	LIM COD1	V1M	LIM COD2	V1M
1.200	15.	15.	15.	12.	15.	15.	12.	15.
1.210	15.	15.	15.	12.	15.	15.	12.	15.
1.220	15.	15.	15.	12.	15.	15.	12.	15.
1.230	15.	15.	15.	12.	15.	15.	12.	15.
1.240	15.	15.	15.	12.	15.	15.	12.	15.

V2/VS	LIM COD1	V1B	LIM COD2	V1B	V2/VS	V1/VR MIN
1.200	15.	15.	15.	1.200	0.840	
1.210	15.	15.	15.	1.210	0.840	
1.220	0.	0.	0.	1.220	0.840	
1.230	0.	0.	0.	1.230	0.840	
1.240	0.	0.	0.	1.240	0.840	

V2/VS	V1/VR MAX	V1/VR BAL	V1 MIN IAS	V1 MAX IAS
			KM/H	KM/H
1.200	0.960	0.936	262.914	300.192
1.210	0.944	0.937	266.360	299.125
1.220	0.929	0.000	269.701	298.069
1.230	0.914	0.000	272.942	297.016
1.240	0.901	0.000	276.178	296.036

V2/VS	V1 BAL IAS	V2 IAS	VR IAS
	KM/H	KM/H	KM/H
1.200	292.824	320.093	312.782
1.210	296.883	323.915	316.883

I-----I	I-----I	I-----I	I-----I
I 1.220 I	I 0.000 I	I 327.680 I	I 320.861 I
I-----I	I-----I	I-----I	I-----I
I 1.230 I	I 0.000 I	I 331.389 I	I 324.719 I
I-----I	I-----I	I-----I	I-----I
I 1.240 I	I 0.000 I	I 335.055 I	I 328.572 I
I-----I	I-----I	I-----I	I-----I

Fig. 4.5. Resultats TLO

En el cas dels resultats oferts pel mòdul TLO, hem de prendre les dades en que el pes màxim és major. Ens fixem en la relació $V2/Vs$ que correspon a tal pes màxim i agafem tots els valors de la resta de variables d'aquesta relació.

Això significa que per a realitzar el vol amb el màxim pes de càrrega possible les *performances* de vol han d'estar configurades segons els valors obtinguts d'aquest resultat. Així doncs, en el cas d'exemple anterior tenim que la massa màxima serà de 98689.7 Kg per la relació de velocitats $V2/Vs=1.220$ i hi ha les limitacions amb codi 15 i 12 que corresponen al 2n gradient i a l'energia de frenada respectivament.

4.2.2 FLIP: Càlcul del combustible necessari pel vol

El que volem obtenir d'aquest mòdul és el *block fuel* i per tant el TOW (*Take Off Weight*). Aquí el que fem és realitzar un estudi de les diferents rutes en les que operem. Per a realitzar aquest estudi tindrem en compte diferents casos. Farem servir els avions A320 i A321, amb *Cost index* de 0, 30, 60 i 90 Kg/min i amb els *payloads* del 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100 % tot això en diferents *Flight Levels* (FL), de FL260 a FL390. El màxim *Take Off Weight* (MTOW) que introduïm en cada cas és el que ens dona per defecte el PEP per a cada avió així com totes les altres dades que podem modificar i de les quals no hem fet referència.

A les Figures 4.6 i 4.7 es mostren diferents pestanyes d'opcions d'aquest mòdul.

Processant aquestes dades extraïem el FL òptim per cada ruta en particular i per cada combinació de *payloads* i *Cost indexes*.

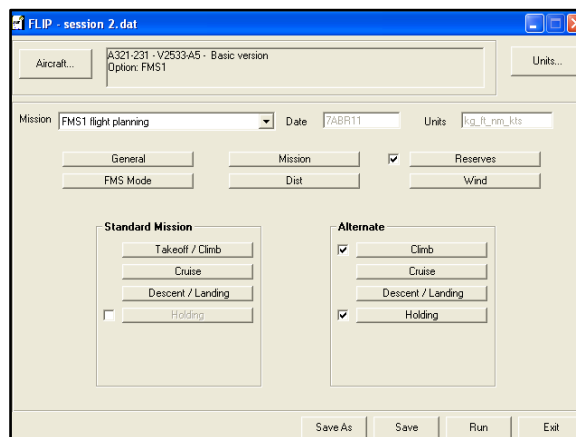


Fig. 4.6. Interfície del FLIP: Finestra principal

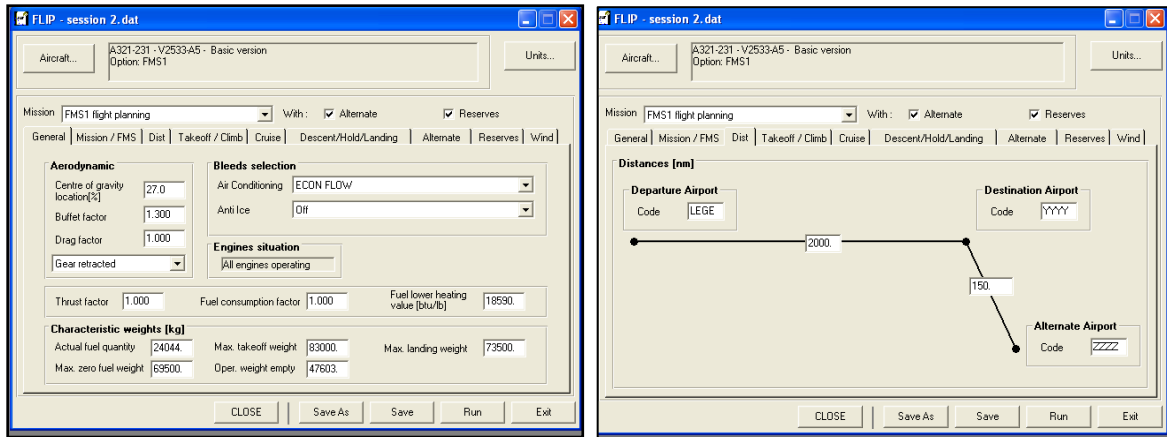


Fig. 4.7. Interfície del FLIP: Pestanya General i Distàncies

Resultat d'exemple: a continuació presentem el resultat d'una execució de dades amb el mòdul PEP (Figura 4.8). Simulació corresponent al vol a Hahn amb A320, FL=280, CI=0 Kg/min i PL=70%.

```

PROGRAM : FLIP25F2    23.01.06

AERO    : A320-231          30/08/92
ENGINE  : A320-231FM       14/12/94
GENERAL : A320-231/-232   14/06/96

A320 DATABASE WITH ENGINE V2500-A1

A320-232 FMS1 FLIGHT PLANNING

                                1. PICTURE

                                F L I G H T   P L A N N I N G
                                FMS - CALCULATION (HONEYWELL)

FROM      :LEGE                TO      :EDFH                ALTERNATE :EDDF
AIRCRAFT  : A320-231FM        ENGINE   : V2500-A1          DATE      : 9DES10
AIR CONDITIONING : LOW        ANTI ICING  : OFF              FUEL HEATING VALUE : 18590 BTU/LB
TEMPERATURE : ISA             CG POSITION  : 27.0 %          MAX CABIN RATE OF DESCENT : 350 FT/MIN
CRUISE ALTITUDE : 28000 FT    PAYLOAD WEIGHT : 14536 KG    OPERATING WEIGHT EMPTY : 39733 KG
COST INDEX : 0 (KG/MIN)      ALTERNATE C.I. : 0 (KG/MIN)
CLIMB-MODE : ECONOMIC        CRUISE-MODE : ECONOMIC      DESCENT-MODE : ECONOMIC
ALTERNATE-MODE : ECONOMIC

INSTALLED FACTORS : RESERVES 5.0 % (on fuel)

POINT OF FLIGHT      : WEIGHT : FUEL : TIME : DISTANCE : FL : SPEEDS : WIND : OAT :
                    : KG      : KG  : MIN  : GRND   AIR  : --   : KT / M : KT  : CELSIUS :
=====
RAMP WEIGHT          : 60316 :      :      :      :      :      :      :      :      :
TAXI OUT             :      : 160 : 12   :      :      : 0    :      :      :      : 15.0 :
WEIGHT AT BRAKE RELEASE : 60156 :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
TAKEOFF and INITIAL CLIMB :      : 164 : 2    : 3    : 3    : 15   :      :      : 0    :      :
CLIMB                :      : 759 : 9    : 50   : 50   :      : 250/295/.629 :      :      :      :
CLIMB                :      : 164 : 4    : 25   : 25   :      : .646 :      :      :      :
CRUISE (2nd flight level) :      : 2877 : 86   : 549  : 549  : 280  : .646 ECONOMIC :      :      :      :
DESCENT to DESTINATION AIRPORT :      : 199 : 18   : 93   : 93   : 15   : .639/250/250 :      :      :      :
IFR APPROACH and LANDING :      : 92  : 5    : 11   : 11   : 0    :      :      :      :      :
TRIP FUEL            :      : 4256 : 124  : 731  : 731  :      :      :      :      :      :
ROUTE RESERVES ( 5.0% trip fuel) :      : 213 :      :      :      :      :      :      :      :      :
WEIGHT AT DESTINATION AIRPORT : 55901 :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
CLIMB                :      : 174 : 2    : 7    : 7    :      : 250/323/.442 :      :      :      :
CRUISE               :      : 121 : 3    : 16   : 16   : 80   : .442 ECONOMIC :      :      :      :
DESCENT              :      : 67  : 5    : 23   : 23   : 15   : .442/250/250 :      :      :      :
IFR APPROACH and LANDING :      : 93  : 5    : 11   : 11   : 0    :      :      :      :      :
ALTERNATE FUEL       :      : 454 : 15   : 57   : 57   :      :      :      :      :      :
LANDING WEIGHT AT ALTERNATE : 55447 :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
HOLDING              :      : 965 : 30   :      :      : 15   : 195 GREEN DOT :      :      : 12.0 :
BLOCK FUEL           :      : 6047 : 181  :      :      :      :      :      :      :      :
    
```

DISTANCE from DEPARTURE AIRPORT to DESTINATION AIRPORT	731 /	731 NM (GROUND / AIR)			
DISTANCE from DESTINATION AIRPORT to ALTERNATE AIRPORT	57 /	57 NM (GROUND / AIR)			
RAMP WEIGHT	: 60316 KG	TOTAL FUEL on BOARD	: 6047 KG	TOTAL TIME	: 3/ 1 H/MIN
TAKEOFF WEIGHT	: 60156 KG	TRIP FUEL	: 4256 KG	TRIP TIME	: 2/ 4 H/MIN
LANDING WEIGHT at DEST.	: 55901 KG	ROUTE RESERVES	: 213 KG	ALTERNATE TIME	: 0/15 H/MIN
LANDING WEIGHT at ALTERN.	: 55447 KG	ALTERNATE FUEL	: 454 KG		
ZERO FUEL WEIGHT	: 54269 KG	HOLDING at ALTERNATE	: 965 KG		
PAYLOAD	: 14536 KG				

Fig. 4.8. Resultats FLIP

D'aquesta presentació de resultats ens n'interessa treure els valors del *Trip Fuel*, el *Trip Time* i el *Cost index* per tal de calcular el FL òptim mitjançant el cost així com el TOW, que en aquest exemple són: *Trip Fuel* = 4256 Kg, *Trip Time* = 2 hores i 4 minuts i TOW = 60156 Kg. En aquest cas el cost serà igual al *Trip Fuel* ja que el *Cost index* és igual a 0.

4.2.3 FM: Càlcul de paràmetres operacionals a l'enlairament

Ara el que volem calcular són les distàncies *Take Off Run* (TOR), *Take Off Distance* (TOD) i Distància als 400 ft (D400) per als nostres avions. Per aconseguir aquestes distàncies necessitem treballar amb els mòduls FM i OFP conjuntament. El mòdul FM no calcula la distància als 400 ft i dona les distàncies TOD i TOR suposant que $V=V_2$ (tenir en compte que des de un punt de vista de reglamentació V ha de ser igual o major que V_2). Així doncs, l'FM dona només valors operacionals que s'ajusten estrictament a la reglamentació (considerant, per exemple $V=V_2$), en canvi l'OFP simula un enlairament real amb un avió que complirà amb la normativa, però que segurament volarà a una velocitat $V > V_2$ per exemple. Per aquest motiu, no fem prou amb l'FM i necessitarem l'OFP, tal i com es veurà al següent apartat.

L'FM el necessitem per a poder realitzar una escombrada de velocitats, ja que volem calcular aquestes distàncies per a tot el rang de velocitats i configuracions de flaps. Ara ja només treballem amb els FL òptims, és a dir, agafem les dades extretes del FLIP referents al FL òptim.

Per a fer treballar aquest mòdul hem d'introduir com a entrades el *Take Off Weight* (TOW), que l'hem calculat anteriorment i extret del FLIP, la configuració d'enlairament i l'escombrada de V_2/V_s . Totes les altres variables són les que el PEP ens dona per defecte. De les dades de sortida d'aquest mòdul ens quedem amb les velocitats V_2 i V_r . Aquestes velocitats les passem a l'OFP per tal d'aconseguir les distàncies TOD, TOR i D400ft.

Dues de les pestanyes més utilitzades a l'operar amb aquest mòdul són les corresponents a la Figura 4.9.

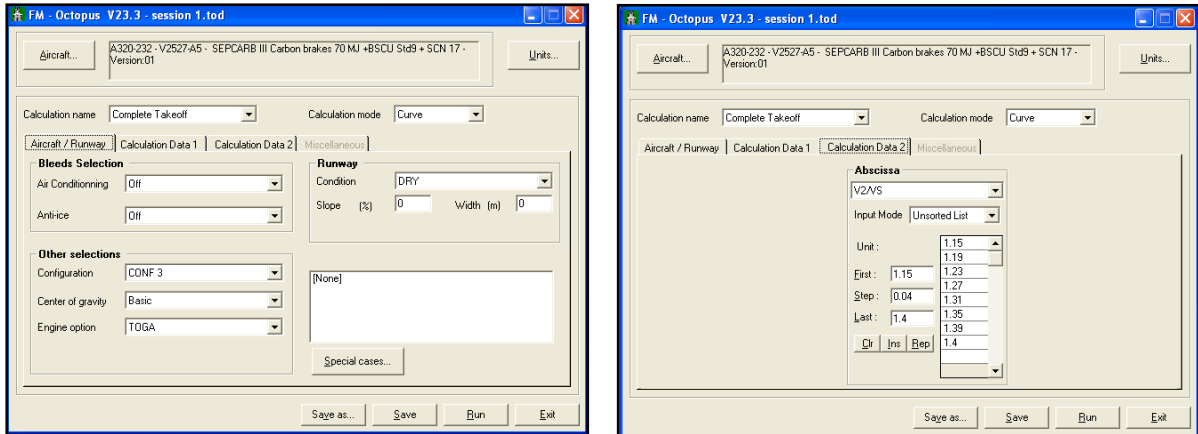


Fig. 4.9. Interfície de l'FM: Configuració Flaps i Valors V2/VS

Resultat d'exemple: a continuació presentem un extracte del resultat d'una execució de dades amb el mòdul FM del PEP (Figura 4.10). En aquest cas la simulació també està feta pel vol a Hahn amb A320, FL=280, CI=0 Kg/min i PL=70%.

CALCULATION NAME : COMPLETE TAKE-OFF

APPROVED

02-MAY-11

ABSCISSA CALCULATION

V2/VS	TOD OEI	1.15 TOD AEO	TOR OEI	1.15 TOR AEO
M	M	M	M	M
1.150	*****	*****	*****	*****
1.180	1297.7	1276.2	1147.1	1159.9
1.220	1348.2	1347.3	1203.2	1233.2
1.250	1392.7	1404.1	1250.4	1291.2
1.290	1458.7	1485.2	1318.6	1372.9

V2/VS	ASD OEI	ASD AEO	BRK ENER AEO	BRK ENER OEI
M	M	M	%	%
1.150	*****	*****	*****	*****
1.180	1490.2	1562.0	59.3	53.5
1.220	1613.5	1685.2	62.6	56.8
1.250	1708.6	1779.0	65.1	59.2
1.290	1837.6	1906.4	68.6	62.5

V2/VS	V1 CAS	V1 IAS	VR CAS	VR IAS
KT	KT	KT	KT	KT
1.150	*****	*****	*****	*****
1.180	1490.2	1562.0	59.3	53.5
1.220	1613.5	1685.2	62.6	56.8
1.250	1708.6	1779.0	65.1	59.2
1.290	1837.6	1906.4	68.6	62.5

I	I	I	I	I	I
I 1.150	I*****	I*****	I*****	I*****	I*****
I 1.180	I 131.469	I 133.410	I 131.469	I 133.410	I
I 1.220	I 136.538	I 138.276	I 136.538	I 138.276	I
I 1.250	I 140.339	I 141.922	I 140.339	I 141.922	I
I 1.290	I 145.394	I 146.724	I 145.394	I 146.724	I

I V2/VS	I VLOF0 CAS	I VLOF0 IAS	I VLOF1 CAS	I VLOF1 IAS	I
I	I KT	I KT	I KT	I KT	I
I 1.150	I*****	I*****	I*****	I*****	I
I 1.180	I 141.172	I 141.083	I 136.194	I 136.056	I
I 1.220	I 145.542	I 145.497	I 140.764	I 140.671	I
I 1.250	I 148.853	I 148.842	I 144.228	I 144.170	I
I 1.290	I 153.302	I 153.302	I 148.872	I 148.861	I

I V2/VS	I V2 CAS	I V2 IAS	I V2/VS	I 1ST SEG GRAD	I
I	I KT	I KT	I	I %	I
I 1.150	I*****	I*****	I*****	I*****	I
I 1.180	I 137.282	I 137.155	I 1.180	I 4.520	I
I 1.220	I 141.936	I 141.855	I 1.220	I 4.729	I
I 1.250	I 145.426	I 145.380	I 1.250	I 4.833	I
I 1.290	I 150.079	I 150.079	I 1.290	I 4.898	I

I V2/VS	I 2ND SEG GRAD	I PMP	I
I	I %	I	I
I 1.150	I*****	I*****	I
I 1.180	I 6.443	I 1.397	I
I 1.220	I 6.781	I 1.397	I
I 1.250	I 6.964	I 1.397	I
I 1.290	I 7.168	I 1.397	I

Fig. 4.10. Resultats FM

L'FM calcula les distàncies TOR, TOD, ASD i l'energia de frenada pel cas de tenir tots els motors operatius (AEO: *All Engine Operative*) i pel cas de tenir un motor inoperatiu (OEI: *One Engine Inoperative*), perquè l'FM dona les dades des d'un punt de vista de regulació.

Dels resultats donats pel mòdul FM, pel nostre estudi necessitem agafar les dades corresponents a les velocitats V1, Vr, Vlof i V2 i el gradient del 1r segment.

S'observa que a la fila corresponent a la relació de velocitat $V2/Vs = 1.150$ els valors són nuls. Això és degut a que la velocitat de l'avió té un valor insuficient per a poder dur a terme l'enlairament amb els paràmetres de vol seleccionats (flaps, *payload*...). És possible que aquesta circumstància es doni diverses vegades al processar els diferents conjunts de dades i també per a diferents relacions de velocitat $V2/Vs$.

4.2.4 OFP: Càlcul de les distàncies d'enlairament

Un cop obtingudes les velocitats $V2$ i Vr , les introduïm a l'OFP per aconseguir les distàncies TOD, TOR i D400ft. Aquestes distàncies són calculades pel cas de la pista RWY02 i pel cas ideal.

En aquest mòdul les entrades introduïdes són: la configuració d'enlairament, les velocitats $V2$ i Vr extretes anteriorment de l'FM i el TOW extret del FLIP. També fem que el nostre avió faci l'operació de retracció del tren d'aterratge als 3 segons d'haver-se enlairat, ja que és el procediment habitual. Escollim realitzar els càlculs en un segment de vol que finalitza als 400 ft d'alçada. Per últim introduïm les dades de la pista RWY02 o les del cas ideal.

Un cop inserides totes les dades esmentades ja podem executar l'OFP i extreure'n les distàncies necessàries TOD, TOR i D400ft.

Algunes de les pestanyes del mòdul OFP es veuen a la Figura 4.11.

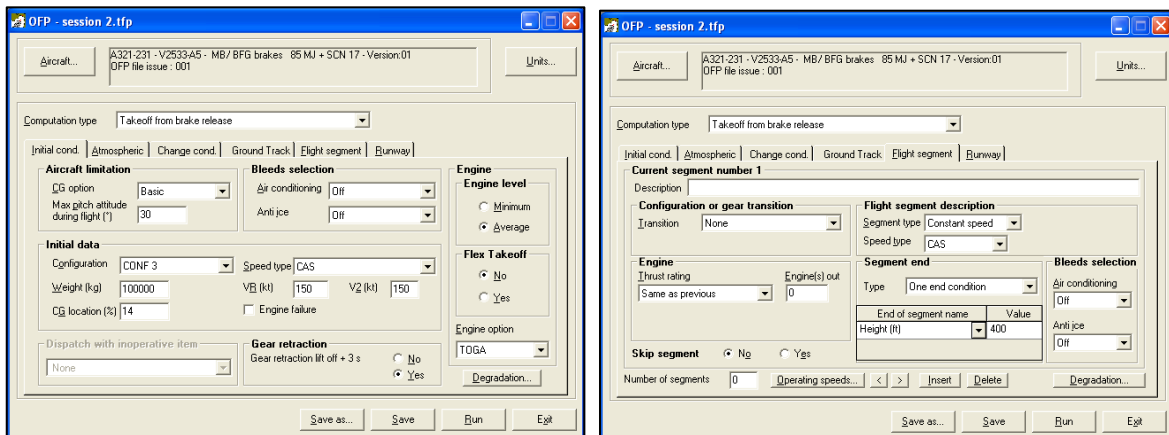


Fig. 4.11. Interfície de l'OFP: Condicions Inicials i Segment de vol

Resultat d'exemple: a continuació presentem el resultat d'una execució de dades amb el mòdul OFP del PEP (Figura 4.12). També aquí la simulació correspon al vol a Hahn amb A320, FL=280, CI=0 Kg/min i PL=70%.

CALCULATION NAME : FLIGHT PATH FROM BRAKE RELEASE

FOR INFORMATION ONLY

05-MAY-11

ABSCISSA CALCULATION

I Time	I X	I Y	I Height/Ref0	I Zp (MSL)	I Gr dist
I SEC	I M	I M	I FT	I FT	I M
ISG00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	7.0	1.0	0.0	0.0	1.0
I	8.0	2.0	0.0	0.0	2.0
I	9.0	5.0	0.0	0.0	5.0
I	10.0	10.0	0.0	0.0	10.0
I	11.0	19.0	0.0	0.0	19.0
I	12.0	31.0	0.0	0.0	31.0
I	13.0	46.0	0.0	0.0	46.0
I	14.0	65.0	0.0	0.0	65.0
I	15.0	87.0	0.0	0.0	87.0
I	16.0	112.0	0.0	0.0	112.0
I	17.0	141.0	0.0	0.0	141.0
I	18.0	172.0	0.0	0.0	172.0
I	19.0	207.0	0.0	0.0	207.0
I	20.0	246.0	0.0	0.0	246.0
I	21.0	287.0	0.0	0.0	287.0
I	22.0	332.0	0.0	0.0	332.0
I	23.0	379.0	0.0	0.0	379.0
I	24.0	430.0	0.0	0.0	430.0
I	25.0	483.0	0.0	0.0	483.0
I	26.0	540.0	0.0	0.0	540.0
I	27.0	599.0	0.0	0.0	599.0
I	28.0	661.0	0.0	0.0	661.0
I	29.0	726.0	0.0	0.0	726.0
I	30.0	794.0	0.0	0.0	794.0
I	31.0	864.0	0.0	0.0	864.0
I VR	31.2	880.0	0.0	0.0	880.0
I	31.7	916.0	0.0	0.0	916.0
I	32.2	953.0	0.0	0.0	953.0
I	32.7	991.0	0.0	0.0	991.0
I VLOF	33.0	1010.0	0.0	0.0	1010.0
I	33.5	1049.0	0.0	1.0	1049.0
I	34.0	1088.0	0.0	4.0	1088.0
I	34.5	1128.0	0.0	12.0	1128.0
I	35.0	1167.0	0.0	23.0	1167.0
I					
I					
I D(400ft)					
I					
I					
I ISG01	35.4	1203.0	0.0	35.0	1203.0
I	36.4	1282.0	0.0	72.0	1282.0
I	37.4	1361.0	0.0	120.0	1361.0
I	38.4	1439.0	0.0	173.0	1439.0
I	39.4	1517.0	0.0	229.0	1517.0
I	40.4	1596.0	0.0	287.0	1596.0
I	41.4	1674.0	0.0	344.0	1674.0
I	42.4	1749.0	0.0	400.0	1749.0

Fig. 4.12. Resultats OFP

En aquest cas el que volem extreure del document de resultats és la TOD, corresponent a la distància recorreguda als 35 ft d'alçada, la TOR, que correspon a la distància recorreguda a l'assolir la velocitat Vlof i la distància als 400 ft d'alçada. En aquest exemple la TOR té un de valor 1010 m, la TOD de 1167 m i la distància als 400 ft és de 1749 m. Podem comprovar que cap dels valors que ens dona l'OFP per les distàncies TOD i TOR coincideixen amb les que dona l'FM, això és degut a que l'FM treballa de forma reglamentària mentre que l'OFP simula el comportament real esperat de l'avió en cas de que no falli cap motor, que és el que ens interessa.

5. AUTOMATITZACIÓ DEL PROCÉS

A l'executar els mòduls del PEP introduint-hi totes les entrades necessàries per tal d'assolir els objectius d'aquest projecte, ens hem vist amb un nombre d'arxius a executar molt gran. Aquest és el motiu principal pel qual ens hem decidit a realitzar diversos *scripts* per tal d'agilitzar la introducció d'aquestes entrades. Els *scripts* també ens han ajudat a processar els diferents fitxers de sortida que ens retornaven aquest mòdul.

El nombre exacte de casos diferents a estudiar a causa de les diferents entrades pel mòdul FLIP és:

Avions = [A320 , A321] (2)

Destinacions = [Stansted, Beauvais, Hahn, Ciampino, Helsinki] (5)

Cost Indexs = [0, 30, 60, 90] (4)

Payloads = [70, 75, 80, 85, 90, 95, 100] (7)

FL = [260, 280, 300, 320, 340, 360, 380, 390] (8)

Per tan fent un senzill càlcul el nombre total de casos és:

Total casos FLIP = $2 \times 5 \times 4 \times 7 \times 8 = 2240$ casos diferents

Davant d'aquest gran nombre de casos a estudiar, és clar que l'única manera racional de dur-ho a terme és automatitzant el procés d'introducció de dades als mòduls del PEP, ja que és implantejable introduir-les a mà diversos milers de vegades.

El nombre de casos és considerablement inferior en el mòdul FM ja que s'estudien els casos considerant només el FL òptim. Tot i això, els processos d'introducció d'entrades han estat igualment automatitzats perquè s'han d'estudiar 840 casos diferents, que considerem un nombre suficientment elevat.

Avions = [A320 , A321] (2)

Destinacions = [Stansted, Beauvais, Hahn, Ciampino, Helsinki] (5)

Cost Indexs = [0, 30, 60, 90] (4)

Payloads = [70, 75, 80, 85, 90, 95, 100] (7)

Configuració d'enlairament = [CONF1+F, CONF2, CONF3] (3)

Total casos FM = $2 \times 5 \times 4 \times 7 \times 3 = 840$ casos

Per últim tenim el mòdul OFP. En aquest mòdul tornem a tenir un nombre de rutes diferents molt elevat. Això succeeix perquè en el cas de l'FM podem fer una escombrada de velocitats, en canvi en l'OFP aquestes velocitats les hem d'introduir una a una, cosa que fa incrementar 5 vegades el nombre de rutes respecte l'FM.

Avions = [A320 , A321] (2)

Destinacions = [Stansted, Beauvais, Hahn, Ciampino, Helsinki] (5)

Cost Indexs = [0, 30, 60, 90] (4)

Payloads = [70, 75, 80, 85, 90, 95, 100] (7)

Configuració d'enlairament = [CONF1+F, CONF2, CONF3] (3)

Velocitats V2/Vs = [1.250 1.290 1.330 1.370 1.400] (5)

Total casos OFP = 2 x 5 x 4 x 7 x 3 x 5 = 4200 casos

Com s'ha comprovat, tenim motius més que suficients per a realitzar les tasques més farragoses d'una manera totalment automàtica.

5.1 Programes utilitzats per l'automatització

Per a automatitzar el procés de creació de fitxers executables al PEP hem creat *scripts* basats en Bash-Shell del sistema Unix.

5.1.1 Bash Scripts

El Bash és un programa informàtic, basat amb un Shell d'Unix, que té la funció d'interpretar ordres.

Genèricament Shell significa qualsevol intèrpret que els usuaris utilitzin per a escriure comandes.

En concret, un Shell d'Unix consisteix en una interfície d'usuari tradicional dels sistemes operatius basats en Unix i similars. Mitjançant les instruccions que aporta l'intèrpret, l'usuari pot comunicar-se amb el nucli i per extensió, executar tals ordres, així com eines que li permetin controlar el funcionament del computador. [18]

Els *scripts* de Shell són de gran utilitat, a l'hora d'escriure les necessitats que tinguem i després editar-los per a que realitzin la nostra feina. Un *script* és un fitxer de text, que conté una sèrie de comandes per Shell, que el sistema executa ordenadament, de dalt a baix. Per a editar-los fem servir un editor de textos qualsevol, com per exemple l'Emacs.[22]

5.1.2 Comandes del Shell

5.1.2.1 Grep

La comanda *grep* és una utilitat de la línia de comandes del sistema operatiu Unix. És una de les més útils en aquest sistema, estalvia molt de temps a l'hora de buscar en fitxers i documents. La seva funció és buscar determinats mots o frases entre els arxius de text. Si el terme buscat apareix diverses vegades en un mateix fitxer, es mostren vàries línies de cada resultat, una per a cada coincidència. [25]

5.1.2.2 *Split*

La comanda *split* serveix per a dividir un arxiu en diversos arxius de menor mida.

La seva sintaxi és: `split [OPCIÓ] [PROVA[PREFIX]]`

Així talla l'arxiu `PROVA` en parts de mida fixa (per defecte de 1000 línies) i els bolca en els fitxers `PREFIXaa`, `PREFIXab...` i així successivament. [23]

5.1.2.3 *Awk*

El llenguatge de programació *awk* és un llenguatge interpretat especialment dissenyat per al tractament de fitxers de text (o text procedent d'un filtre o *pipe*). L'*awk* fa servir *strings*, expressions regulars (*regexp*), i *arrays* associatius (*hash*). Incorpora tot de conceptes implícits com el bucle principal d'entrada, delimitador de camp i delimitador de registre, *parsing* automàtic de camps, obrir i tancar fitxers, etc. Això facilita la creació de programes molt compactes d'una sola línia. [18]

5.1.2.4 *Head / tail*

Les comandes *head* i *tail* funcionen de forma anàloga. Mostren part de l'inici (*head*) o del final (*tail*) d'un fitxer. Per defecte mostren 10 línies, malgrat que es poden especificar la quantitat de línies amb l'opció `-n`. [24]

5.1.2.5 *Altres*

Per moure'ns dins de l'entorn Unix hem fet servir diverses comandes, com per exemple:

- `cd`: Per canviar de directoris
- `ls`: Mostra en pantalla el que hi ha dins del directori on ens trobem
- `rm`: Esborra un arxiu
- `cat`: Mostra en pantalla el contingut d'un arxiu
- `mkdir`: Crea un directori
- `chmod`: Dóna permisos de lectura, escriptura i execució a un arxiu determinat.

5.1.3 Cygwin

Com que tota l'automatització del procés la fem en l'entorn Unix, necessitem un emulador d'aquest entorn ja que els ordinadors que hem utilitzat per treballar fan servir el sistema operatiu de Windows (DOS).

Cygwin és un entorn Unix i una interfície de línia de comandes per a Microsoft Windows. Cygwin proporciona integració nativa de les aplicacions basades en Windows, les dades, i altres recursos del sistema amb les aplicacions, eines de programari, i les dades dels entorns Unix. Per tant, és possible llançar aplicacions de Windows des de l'entorn Cygwin, així com a utilitzar eines i aplicacions de Cygwin en el context operatiu de Windows. [18]

5.2 Diagrames de codi dels *scripts*

En aquest apartat mostrem els diagrames dels diferents *scripts* que hem utilitzat per a crear tots els fitxers. Per a veure el codi sencer d'aquests *scripts* consultar el CD adjuntat en aquesta memòria.

5.2.1 Introducció al procés

Per tal d'automatitzar el procés de generació de fitxers d'entrada pels mòduls FLIP, FM i OFP del PEP així com el procés de processat dels respectius fitxers de sortida hem dissenyat, programat i utilitzat els següents *scripts*. Tots ells estan relacionats entre si ja que de la sortida d'un *script* en surt l'entrada del següent. Així doncs, lògicament s'han d'executar amb l'ordre adequat (FLIP-FM-OFP).

A continuació presentem un diagrama per veure com estan relacionats els *scripts* entre ells i després els detallem per separat (Figura 5.1) :

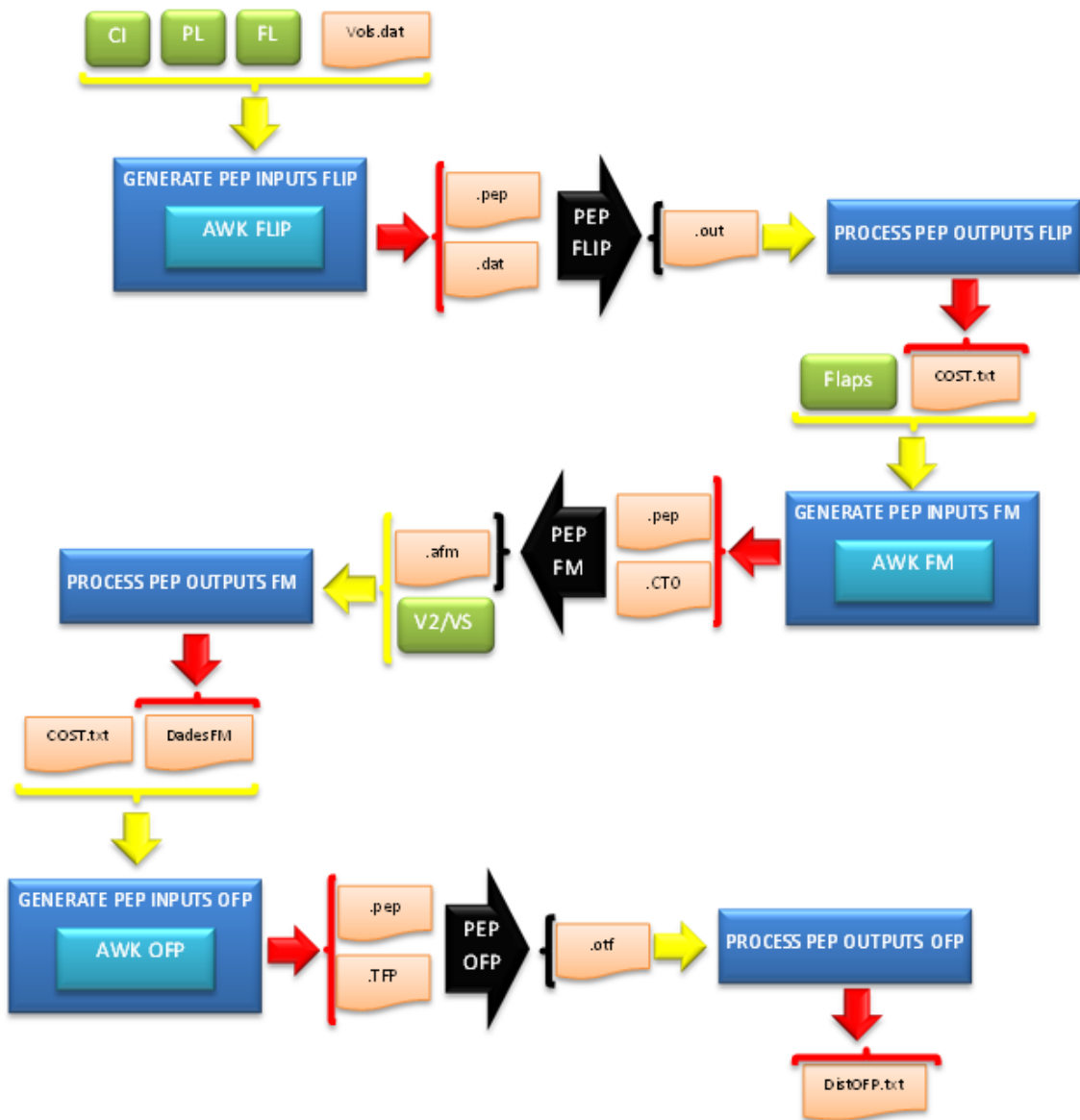


Fig. 5.1. Diagrama resum

5.2.2 Generador fitxers d'entrada del FLIP

Per a generar els fitxers d'entrada pel mòdul FLIP (fitxers .pep i .dat) utilitzem l'script *generate-PEP_inputsFLIP.sh* conjuntament amb l'*awk generate-PEP_inputsFLIP.awk*. Les entrades d'aquest *script* són les dades del fitxer *Vols.dat* (referent als avions i les pertinents rutes) i, mitjançant una sèrie de bucles *for* en cascada, es realitzen totes les combinacions entre els diferents valors de *Cost index*, *Payload* i *Flight Level*. A l'acabar d'executar-se el programa obtenim els 2 fitxers necessaris per a fer córrer el FLIP amb els paràmetres desitjats. (Figura 5.2)

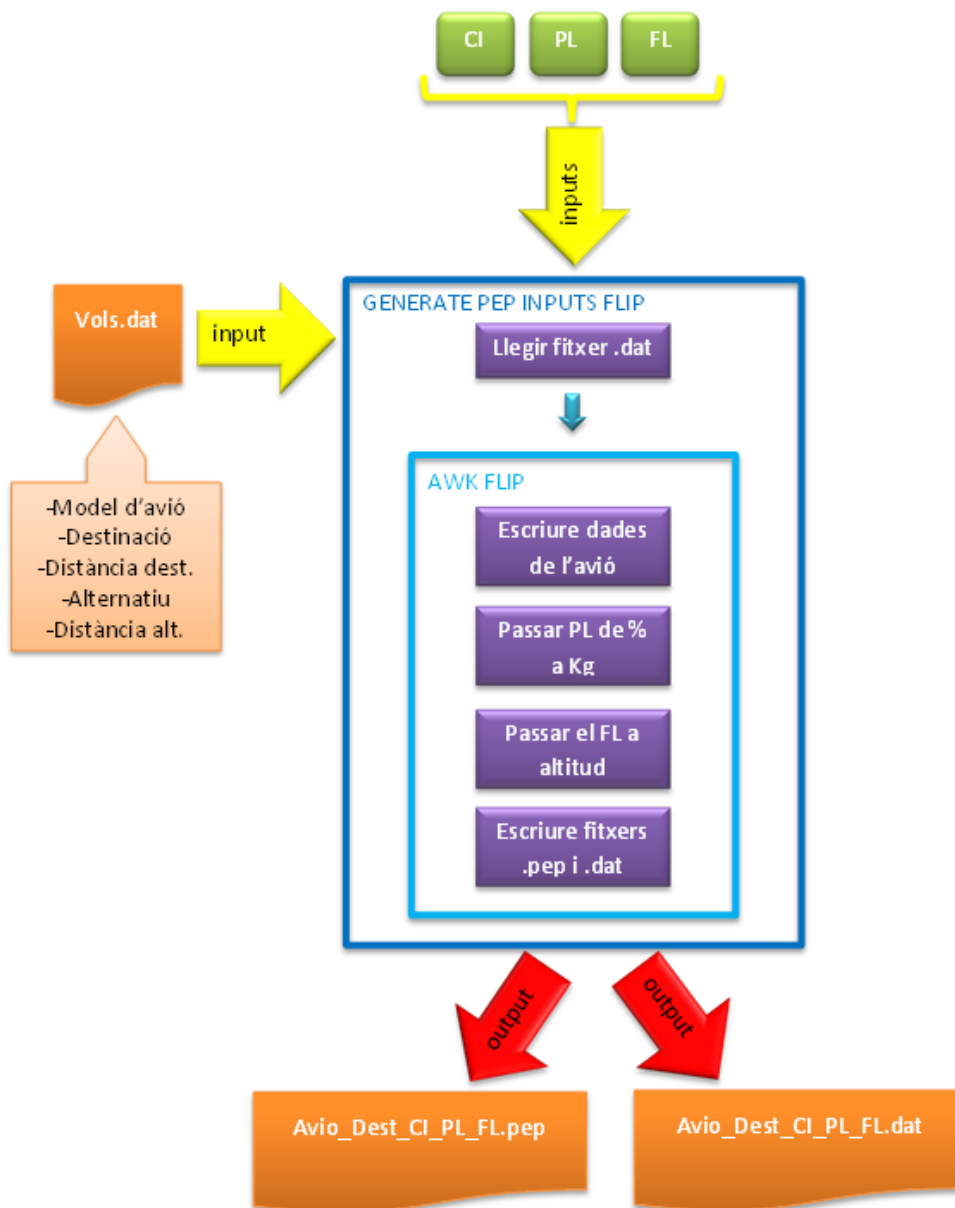


Fig. 5.2. Diagrama de l'script entrades FLIP

5.2.3 Processador fitxers de sortida del FLIP

A l'executar el FLIP es genera un fitxer .out. D'aquest ens interessa extreure'n les dades necessàries per a calcular-ne el Cost, veure equació (2.14), i obtenir el *Flight Level* òptim (nivell de vol òptim) que és l'altura de vol de creuer a la qual tenim un cost més reduït. També volem el valor corresponent al *Take Off Weight*.

Com hem apuntat anteriorment, el PEP no dona cap opció per calcular per ell mateix de forma automàtica el FL òptim, és per això que nosaltres hem creat un *script* per a calcular-lo. Aquest càlcul es fa dins l'*script process-PEP_outputsFLIP.sh*. El que es calcula és el cost de diferents nivells de vol (FL260 fins a FL390) segons l'equació (2.14) per a un mateix vol i es comparen, quedant-se només amb el nivell de vol que tingui el cost més petit. Els paràmetres de vol corresponents a aquests FL òptims són guardats en un fitxer de text (COST) (Figura 5.3).

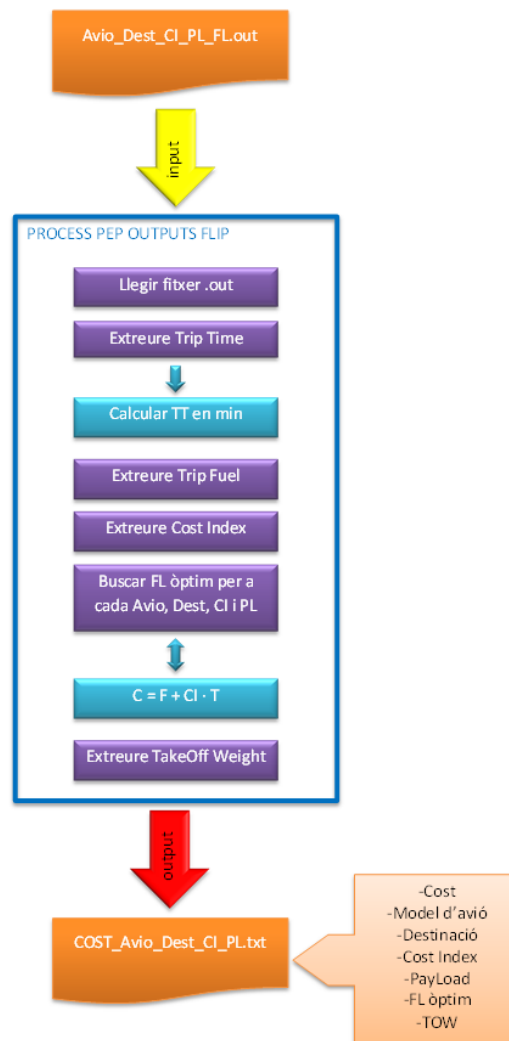


Fig. 5.3. Diagrama de l'script sortides FLIP

5.2.4 Generador fitxers d'entrada de l'FM

Per al procés de generació de fitxers d'entrada pel mòdul FM (fitxers .pep i .CTO) utilitzem l'*script* *generate-PEP_inputsFM.sh* conjuntament amb l'*awk* *generate-PEP_inputsFM.awk*. Les entrades d'aquest *script* són les dades del fitxer .txt (COST), generat al processar les dades del FLIP, i, una dada que s'afegeix en aquest mòdul: la configuració d'enlairament. Un cop executat l'*script* tenim els 2 fitxers necessaris per a executar l'FM amb els paràmetres adequats (Figura 5.4).

Com que les dades han estat creades amb un *script* en entorn Unix i el PEP treballa amb sistema operatiu de Windows (DOS), és necessari en aquest cas fer una conversió de les dades d'un sistema a l'altre.

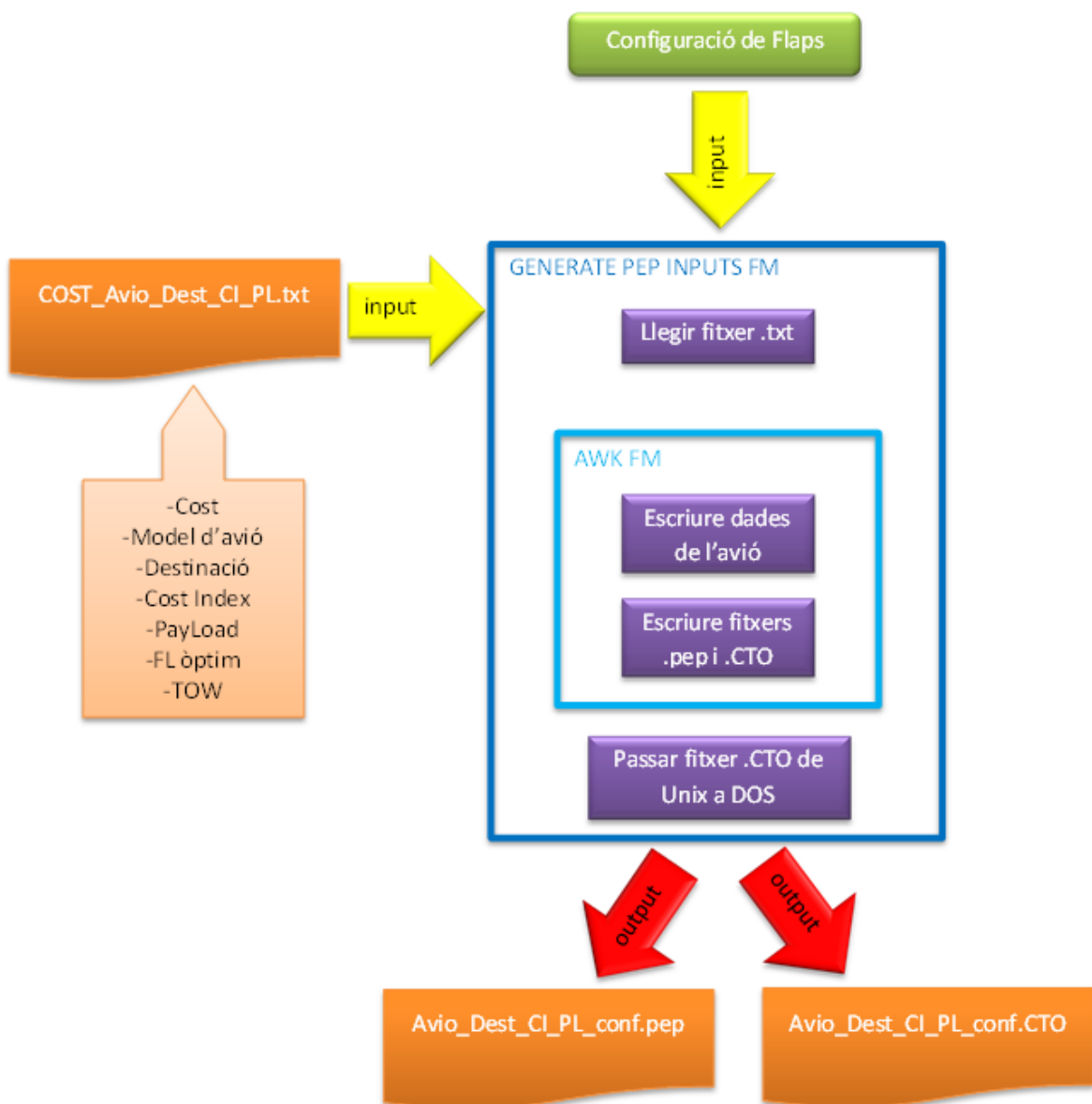


Fig. 5.4. Diagrama de l'script entrades FM

5.2.5 Processador fitxers de sortida de l'FM

A l'executar l'FM es genera un fitxer .afm. del qual les dades que necessitem per introduir-les al mòdul OFP són la V2 i la Vr. Per tal de llegir aquestes dades fem un bucle *for* amb els diferents valors de V2/Vs. Així doncs guardem aquestes 2 dades i d'altres que també capturem del fitxer .afm en un altre fitxer .txt (DadesFM) (Figura 5.5).

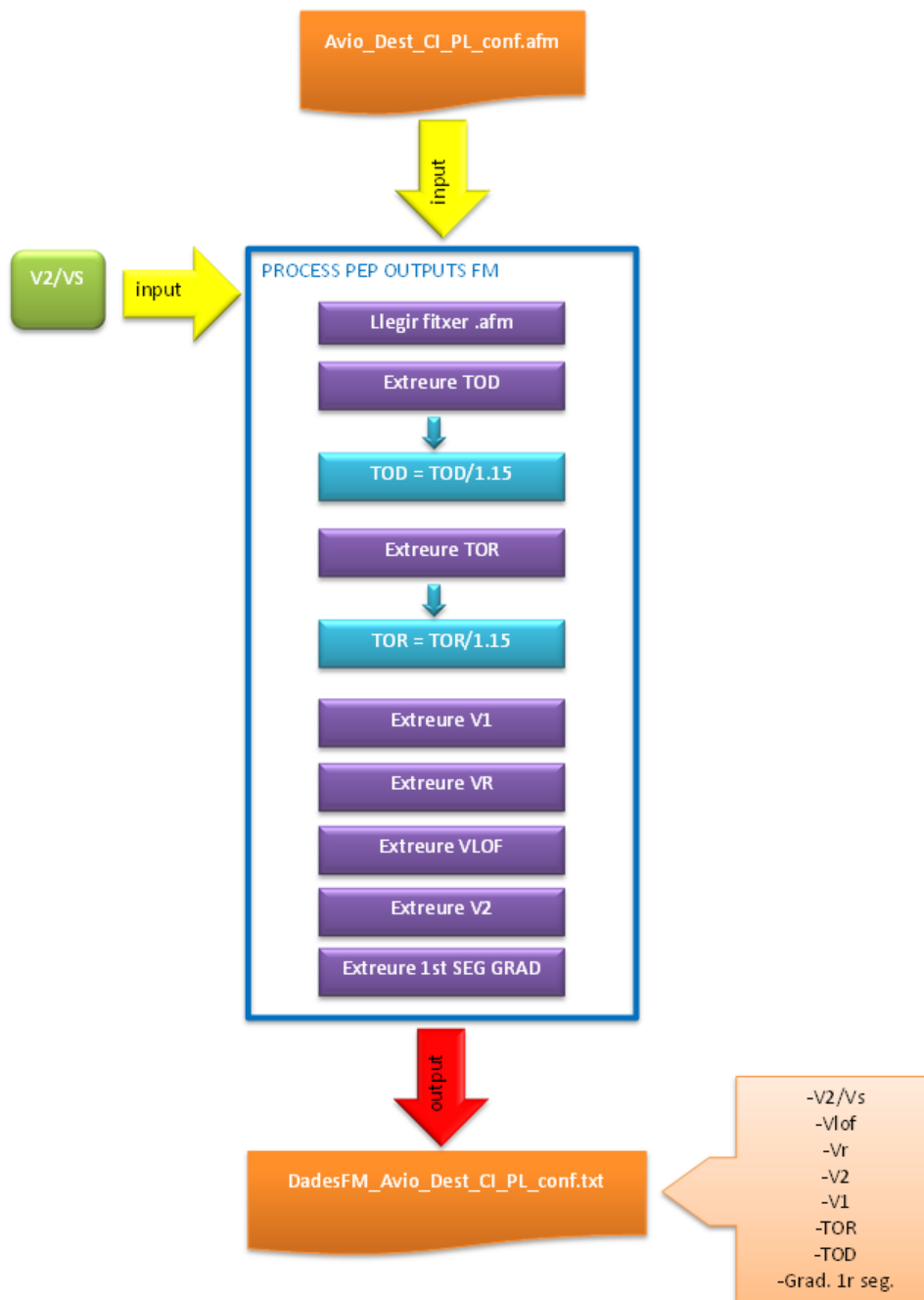


Fig. 5.5. Diagrama de l'script sortides FM

5.2.6 Generador fitxers d'entrada de l'OFF

En la generació de fitxers d'entrada pel mòdul OFF (fitxers .pep i .TFP) utilitzem l'*script generate-PEP_inputsOFF.sh* i també l'*awk generate-PEP_inputsOFF.awk*. Les entrades d'aquest *script* són les dades dels fitxers de text creats al processat dels mòduls FLIP i FM (COST i DadesFM respectivament). A l'acabar-se l'execució del programa obtenim els 2 fitxers necessaris per a fer córrer l'OFF amb els paràmetres desitjats (Figura 5.6).

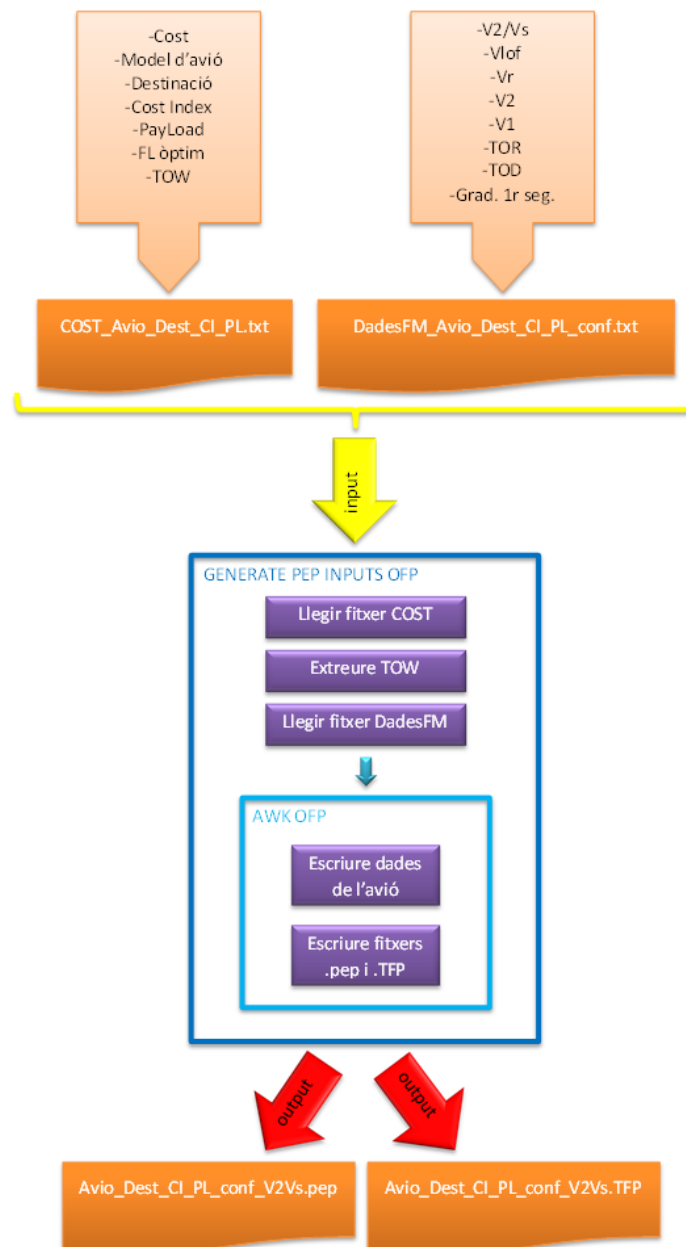


Fig. 5.6. Diagrama de l'estructura de fitxers d'entrada de l'OFF

5.2.7 Processador fitxers de sortida de l'OFP

Executat l'OFP es genera un fitxer .otf. D'aquest ens interessa extreure'n les dades corresponents a les distàncies *Take Off Distance*, *Take Off Run* i la distància als 400 ft d'alçada D400ft. Guardem aquestes 3 dades de tots els vols dins un fitxer .txt (DistOFP). (Figura 5.7)

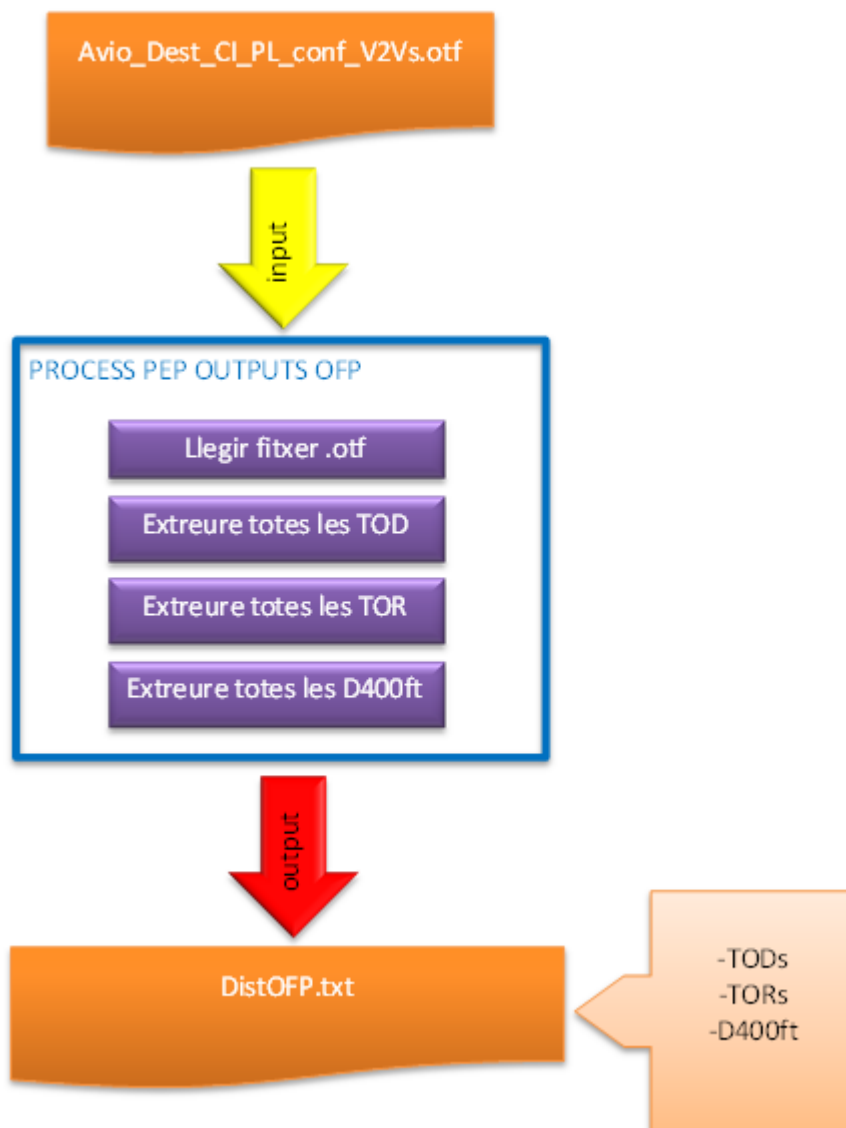


Fig. 5.7. Diagrama de l'script sortides OFP

5.2.8 Creador de fitxers Batch

Hem de fer una quantitat considerable de fitxers .bch, ja que no ho podem fer en un de sol perquè com hem vist en el punt 4.1 el Batch Manager només permet compilar unes 70 sessions, i en tenim moltes més. Així doncs hem automatitzat el procediment de creació de Batch.

Per crear cada .bch de 70 casos, primer de tot l'*script* mou tots els fitxers en diferents carpetes de 70 fitxers cada una. Així després fa un Batch a cada carpeta amb els fitxers que conté i finalment obtenim tots els .bch que necessitem per compilar totes les sessions. (Figura 5.8)



Fig. 5.8. Diagrama de l'script per crear Batch

5.2.9 Extracció de les dades per a la realització de gràfics

Per tal d'agafar les dades necessàries per dibuixar els gràfics també hem realitzat uns petits *scripts* que les extreguin ràpidament.

5.2.9.1 FLIP

En el cas de la sortida del processat del FLIP, es llegeixen les dades del fitxer de text COST i es guarden les que interessin per fer el gràfic en el fitxer GraficsFLIP.txt (Figura 5.9).

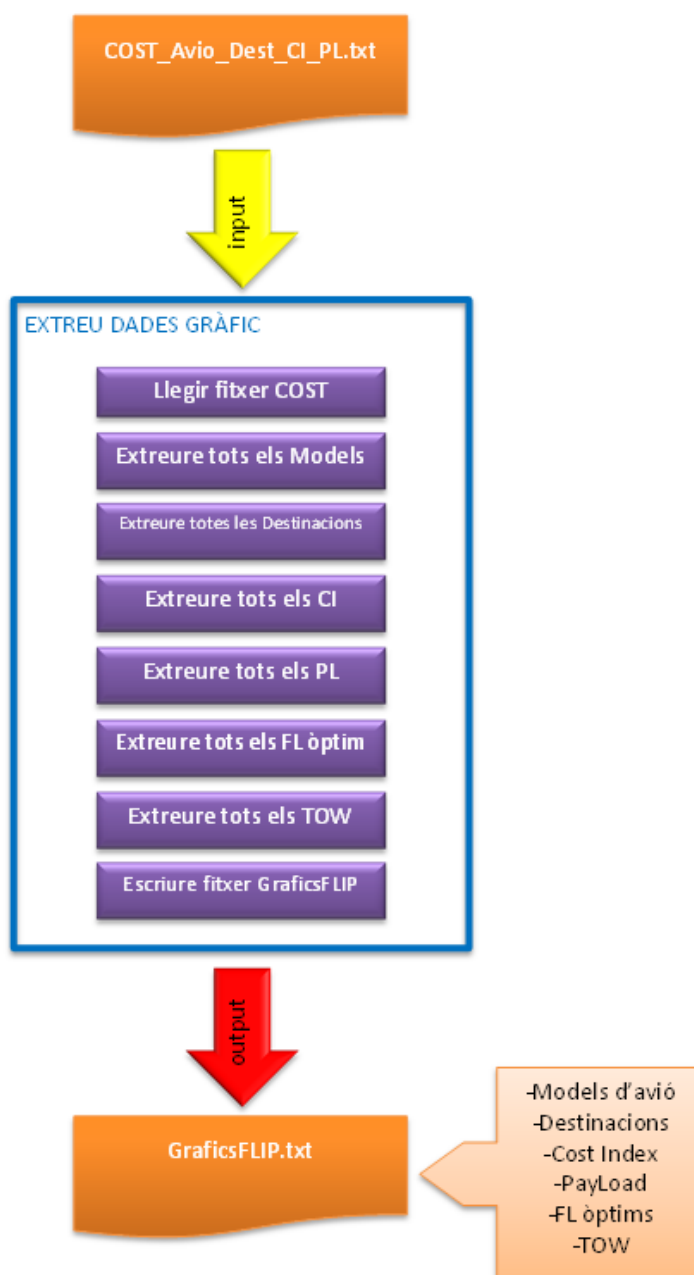


Fig. 5.9. Diagrama de l'script per extreure dades

5.2.9.2 FM

Aquest *script* també llegeix totes les dades del fitxer DadesFM (sortida del processat de l'FM) i les ajunta totes en el fitxer GraficsFM.txt (Figura 5.10).

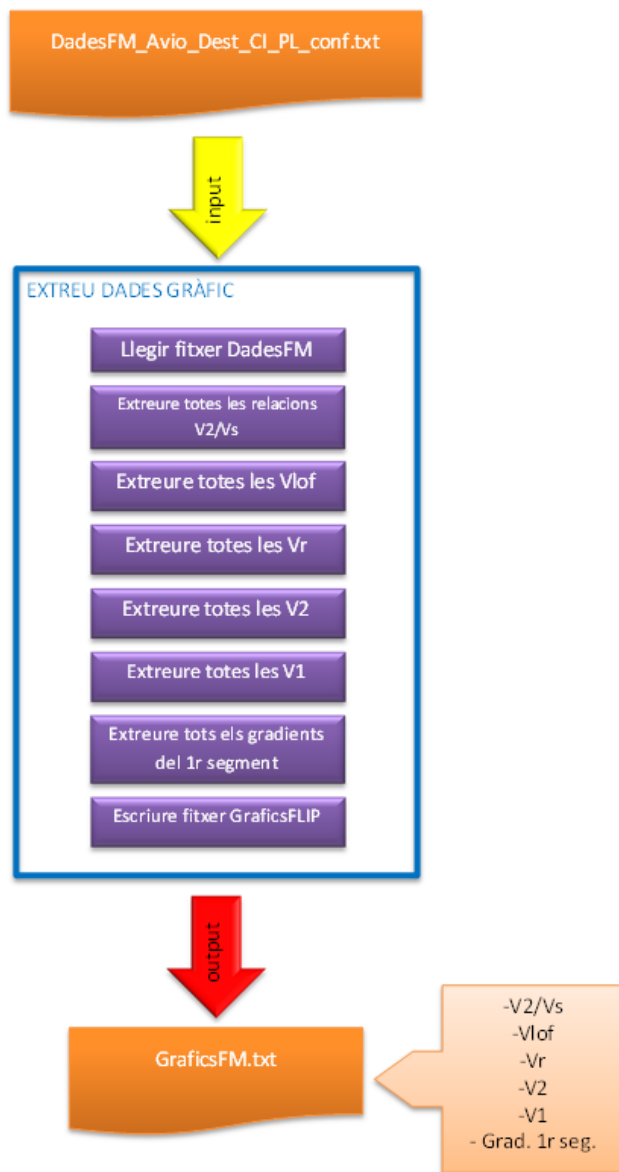


Fig. 5.10. Diagrama de l'script per extreure dades FM

6. RESULTATS DE L'ESTUDI

Aquest capítol mostra els resultats de l'estudi un cop aplicades totes les automatitzacions descrites al capítol anterior.

6.1 TLO: Càlcul de les masses màximes d'enlairament

Els resultats d'aquest mòdul permeten obtenir el pes màxim amb que pot enlairar-se l'aeronau per a una determinada velocitat i configuració d'enlairament. També mostren la limitació que suposa la pista utilitzada.

6.1.1 Resultats Airbus A320

6.1.1.1 Cas real LEGE RWY02

- El pes màxim amb que es pot operar un A320 a la pista 02 de Girona és de 64191.1 Kg.
- La relació $V2/Vs$ és de 1.260 i la configuració òptima d'enlairament és la CONF 3 (veure taula 2.1).
- Trobem una limitació que ve donada per l'afectació dels obstacles (codi=19) [19].
- La relació $V1/Vr$ és de 1.000, sent $V1 = 254.978$ Km/h.
- El valor de la velocitat $V2$ és de 261.105 Km/h i la Vr és de 254.978 Km/h. Tot això donat en el valor d'*Indicated Air Speed*.
- Aquestes *performance* són les necessàries per a poder enlairar-se amb el pes màxim de 64191.1 Kg a la pista de Girona RWY02 amb un A320.

6.1.1.2 Cas ideal

- El pes màxim amb el que pot operar l'A320 en el cas ideal es de 86960.6 Kg amb una configuració d'enlairament CONF1+F (veure taula 2.1).
- En aquest cas tenim limitacions perquè l'energia necessària per a frenar és més gran que l'energia màxima (cod1 12) i perquè la TOD necessària en cas de fallada d'un motor es més gran que la TODA (cod2 3) [19].
- La relació $V1/Vr$ és de 0.880, sent $V1$ de 285.920 Km/h.
- El valor de la velocitat $V2$ és de 326.759 Km/h i la Vr és de 323.919 Km/h. Tot això donat en el valor d'*Indicated Air Speed*.
- Aquestes *performance* són les necessàries per a poder enlairar-se amb el pes màxim de 86960.6 Kg a la pista del cas ideal.

6.1.2 Resultats Airbus A321

6.1.2.1 Cas real LEGE RWY02

- El pes màxim amb que es pot operar un A320 a la pista 02 de Girona és de 76682.8 Kg.
- La relació $V2/Vs$ és d'1.200 i la configuració òptima d'enlairament és la CONF 1+F (veure taula 2.1).
- Trobem una limitació que ve donada per l'afectació dels obstacles (codi1/2 19) [19].
- La relació $V1/Vr$ és d'1.000, sent $V1=275.349$ Km/h.
- El valor de la velocitat $V2$ és de 285.195 Km/h i la Vr és de 275.349 Km/h. Tot això donat en el valor d'*Indicated Air Speed*.
- Aquestes *performance* són les necessàries per a poder enlairar-se amb el pes màxim de 76682.8 Kg a la pista de Girona RWY02 amb un A321.

6.1.2.2 Cas ideal

- El pes màxim amb el que pot operar l'A320 en el cas ideal és de 100,000.0 Kg amb una configuració d'enlairament CONF 1+F (veure taula 2.1). En aquest cas pot enlairar-se amb el pes màxim que permet aquest model.
- En aquest cas tenim limitacions perquè el pes es més gran que el màxim *Take Off Weight* (cod 1 1) i la V_{lof} és més gran que la velocitat màxima per als pneumàtics (cod2 10) [19].
- La relació $V1/Vr$ és de 0.847, sent $V1=294.769$ Km/h.
- El valor de la velocitat $V2$ és de 354.373 Km/h i la Vr és de 348.682 Km/h. Tot això donat en el valor d'*Indicated Air Speed*.
- Aquestes *performance* són les necessàries per a poder enlairar-se amb el pes màxim de 100,000.0 Kg a la pista del cas ideal.

6.1.3 Interpretació de resultats

Taula 6.1. Comparació cas real amb cas ideal A320

	CAS PISTA LEGE RWY02	CAS IDEAL
Pes màxim	64191.1 Kg	86960.6 Kg
Limitacions	Obstacles llindar pista	Energia frens i TOD OEI
$V2/Vs$	1.260	1.260
$V1/Vr$	1.000	0.880
V2	261.105 Km/h	326.759 Km/h
V1	254.978 Km/h	285.920 Km/h.

Com era d'esperar, en el cas de l'A320, l'avió pot enlairar-se amb un pes màxim molt superior en el cas ideal. Aquest pes és 1.5 vegades més gran que en el LEGE RWY02 aproximadament. Això es degut als obstacles que trobem al llindar de la pista de LEGE RWY02. Per contra tenim que les limitacions en el cas ideal venen donades per l'energia necessària per frenar degut a les altes V1 i V2 que s'assoleixen en aquesta pista.

Com que el cas ideal no és estrictament ideal, sinó que la longitud de pista és finita (5000 m), aquesta també limita en el cas de fallada d'un motor.

Taula 6.2. Comparació cas real amb cas ideal A321

	CAS PISTA LEGE RWY02	CAS IDEAL
Pes màxim	76682.8 Kg	100,000.0 Kg
Limitacions	Obstacles llindar pista	W>MTOW i Vlof>V pneumàtics
V2/Vs	1.200	1.310
V1/Vr	1.000	0.847
V2	285.195 Km/h	354.373 Km/h
V1	275.349 Km/h	294.769 Km/h

En el cas de l'Airbus A321 els resultats i conclusions són similars als extrets amb l'Airbus A320. El pes màxim amb que es pot enlairar és més gran pel cas ideal. Com que el pes en el cas ideal té un valor tant gran, aquest en algun moment de l'enlairament supera l'MTOW i per tant es converteix en una limitació. Al ser tant altes les velocitats també en aquest cas limita la velocitat que poden suportar els pneumàtics ja que Vlof és superior a aquesta. Lògicament la principal limitació pel cas real són els obstacles que es troben al llindar de la pista.

6.2 FLIP: Càlcul del combustible necessari pel vol

Amb els resultats d'aquest mòdul és possible extreure el pes a l'enlairament (TOW) de cada vol considerant que la ruta plantejada es realitza al FL òptim.

6.2.1 Estudi del Flight Level Òptim

En els gràfics mostrats a les Figures 6.1 i 6.2 hi consten els diferents FL òptims per als *payloads* estudiats.

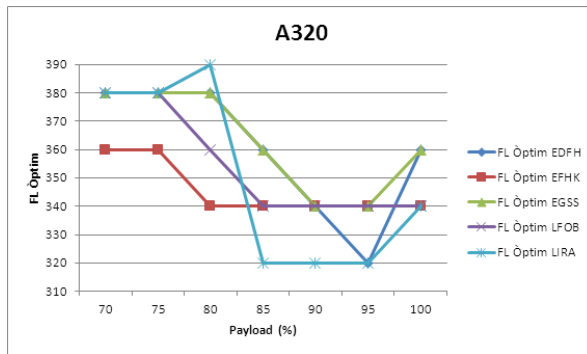


Fig. 6.1. FL òptim vs PL - A320
CI=60 Kg/min

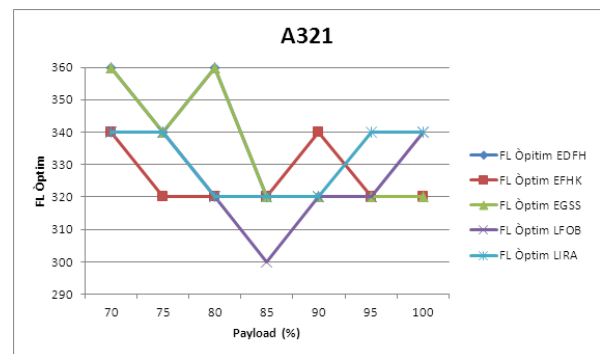


Fig. 6.2. FL òptim vs PL - A321
CI=60 Kg/min

Observant com queda el gràfic de l'A320 concloem que el FL òptim no varia de forma proporcional amb el *payload*, ja que les línies no segueixen cap ordre regular, sinó que en cada punt tenen un valor no dependent de l'anterior. Si ens fixem amb els gràfics de l'Annex C (CD) veiem que el *CI* tampoc afecta de manera proporcional al FL òptim.

Per a extreure el FL òptim de cada vol, tal i com s'ha explicat a l'apartat 3, hem calculat prèviament el cost d'aquest, tal i com es mostra a l'equació (2.14)

Hem fet aquest càlcul donant als diferents paràmetres el rang de valors estudiat i els que determinen el FL òptim són els que donen un valor de cost menor. Sent així, per a cada destinació tenim 56 FL òptims tenint en compte els diferents valors dels paràmetres i configuracions modificats així com els 2 models d'avió.

Els gràfics representats corresponen als FL òptims dels 5 vols per a CI=60 Kg/min. Per veure tots els resultats del nostre estudi obtinguts en aquest apartat, consultar l'Annex C (CD). D'aquest cas és destacable que en vol a Ciampino (LIRA), el FL òptim varia de forma molt brusca entre el *payload* 80% i 85%, reduint-se en 7000 ft.

El gràfic corresponent a la Figura 6.2 del model A321, també demostra que el FL òptim no varia de forma proporcional amb el *payload*. Per tal de poder comparar els gràfics de forma coherent, també en aquest cas hem representat els FL òptims corresponents al CI = 60 Kg/min. Veiem que la màxima diferència de FL entre 2 valors de *payload* diferents és de 40 FL.

6.2.2 Estudi del pes TOW

En els gràfics de les Figures 6.3 i 6.4 resumim la relació entre el pes a l'enlairament (TOW) i la càrrega de pagament (*payload*) per les 5 destinacions volant amb l'Airbus A320 i considerant els nivells de vol òptims calculats anteriorment.

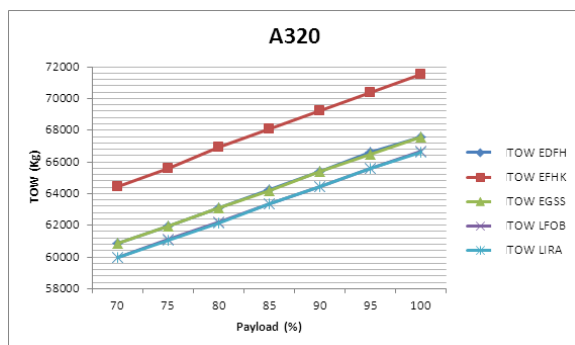


Fig. 6.4. TOW vs PL - A320
CI = 60 Kg/min

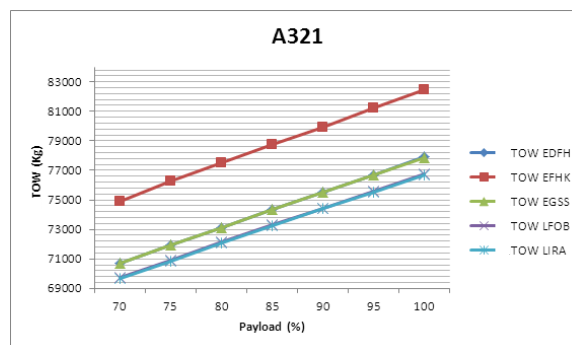


Fig. 6.3. TOW vs PL - A321
CI = 60 Kg/min

Per tal de poder agrupar les 5 destinacions en un sol gràfic (Figura 6.3), només hem representat un valor de *Cost index*, que en aquest cas és CI = 60 Kg/min.

Al representar els diferents valors de TOW pels 5 vols que estem realitzant l'estudi, veiem que, com més elevat sigui el pes del *payload*, més gran serà el pes total de l'avió TOW.

Com es pot observar, els vols corresponents a les destinacions més properes de l'aeroport de Girona (Ciampino (LIRA), Beauvais (LFOB), Stansted (EGSS) i Hahn (EDFH)) són les que tenen un valor de TOW inferior. El vol més llarg, amb el destí més llunyà (Vantaa (EFHK)) es veu clarament desmarcat en el gràfic i amb un valor de TOW força més elevat en comparació amb la resta. Evidentment això és degut al pes del combustible, que com més llunyà sigui el vol, més càrrega de carburant porta l'aeronau als dipòsits. Per altra banda, a l'augmentar el *Cost index* també augmenta el pes TOW. Aquesta relació es pot veure en detall als gràfics de l'Annex C (CD). Per tant, arribem a la conclusió que com més elevats siguin el *CI* i el PL, més gran serà el pes amb el que l'avió es pot enlairar.

També aquí, en el cas de l'A321 els resultats i conclusions són similars als vistos amb l'A320 (Figura 6.4). Veiem que el model A321 pot portar considerablement més pes que l'A320. Ho exemplifiquem en el vol Girona – Vantaa (LEGE - EFHK). En el cas de l'A320, amb un PL del 100% es necessita una TOW de 71547 Kg, mentre que amb l'A321 un PL del 100% representa un TOW de 77897 Kg. De la mateixa manera que en el cas anterior, a l'Annex C (CD) confirmem mitjançant gràfics que com més elevats siguin el *CI* i el PL, més gran serà el màxim pes amb el que l'avió es pot enlairar.

6.3 FM: Càlcul de paràmetres operacionals a l'enlairament

Al tenir un volum tan extens de resultats, per tal de mostrar de manera gràfica alguns d'aquests, agafem un vol a mode d'exemple i en presentem els resultats corresponents. A l'Annex C (CD) es mostren totes les taules de resultats de tots els vols simulats. El lector s'hi pot dirigir per tal de consultar-los.

6.3.1 Estudi de les velocitats operacionals a l'enlairament en funció del *payload*

Al següent gràfic (Figura 6.5) es mostra la velocitat V1 respecte al *payload* per al cas de la ruta de Hahn (EDFH) volant amb el A320 i amb la configuració de flaps/slats a l'enlairament CONF 3.

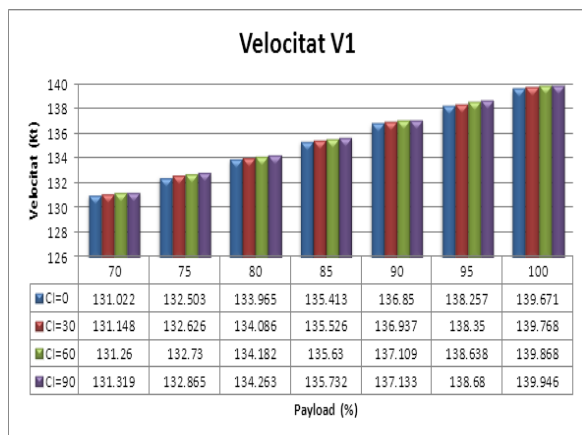


Fig. 6.6. Velocitat V1 vs PL - A320
EDFH Configuració d'enlairament 3

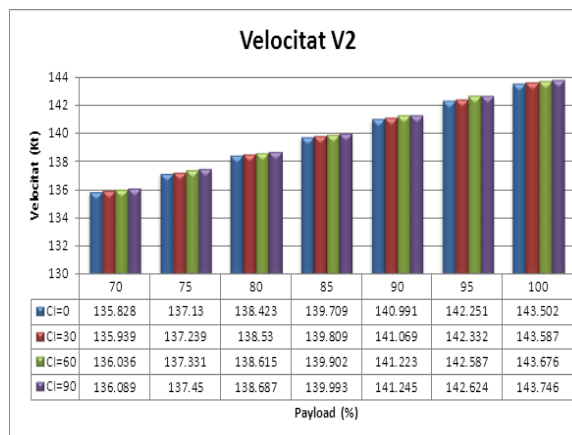


Fig. 6.5. Velocitat V2 vs PL - A320
EDFH Configuració d'enlairament 3

A l'augmentar el *payload* la velocitat V1 augmenta proporcionalment amb aquest. D'igual manera succeeix a l'incrementar el *Cost index*, encara que en aquest cas l'augment és d'un valor mínim.

Com més s'incrementa el *payload* la velocitat d'enlairament V1 també augmentarà.

Analitzem-ne a mode d'exemple els casos dels extrems del gràfic (CI=0 i C=90 Kg/min) per tal de veure el màxim contrast del valor de la velocitat:

- Pel cas del CI=0 Kg/min trobem que a l'augmentar un 5% el *payload*, la velocitat V1 augmenta uns 1.4 Kt. Trobem que per aquest cas l'augment va disminuint, encara que de manera ínfima.
- Pel cas de CI=90 Kg/min l'augment oscil·la en 1.4 m/s, en alguns casos puja de valor i en d'altres baixa. Així l'increment de velocitat va dels 1.547 fins als 1.266 Kt sense seguir una pauta lògica.

El cas de l'estudi de la velocitat V2 és molt semblant al de la velocitat V1.

Veiem en detall també els 2 casos dels extrems:

- Tenim que pel CI=0 Kg/min la velocitat V2 augmenta uns 1.250 Kt a l'augmentar el *payload* un 5%. Trobem que per PL=70% la V2 és igual a 135,828 Kt i per PL=100% V2 és de 143.502 Kt. Per tant la màxima diferència de velocitat V2 respecte els *payloads* és de 7,674 Kt.

- Pel cas $CI=90$ Kg/min la velocitat V2 augmenta uns 1.3 Kt augmentant el *payload* un 5%. En aquest cas per $PL=70\%$ la velocitat V2 té un valor de 136.089 Kt i per $PL=100\%$ la velocitat V2 és igual a 143.746 Kt. La diferència màxima és de 7.657 Kt.

Les diferències màximes són gairebé iguals, per tant arribem a la conclusió que el *CI* gairebé no afecta en les velocitats d'enlairament V1 i V2.

6.3.2 Estudi de les velocitats respecte la configuració d'enlairament

En aquest exemple fem un gràfic (Figura 6.7) pel cas de la ruta a Hahn volant amb l'A320 amb un *Cost index* de 60 Kg/min i un *payload* del 100%.

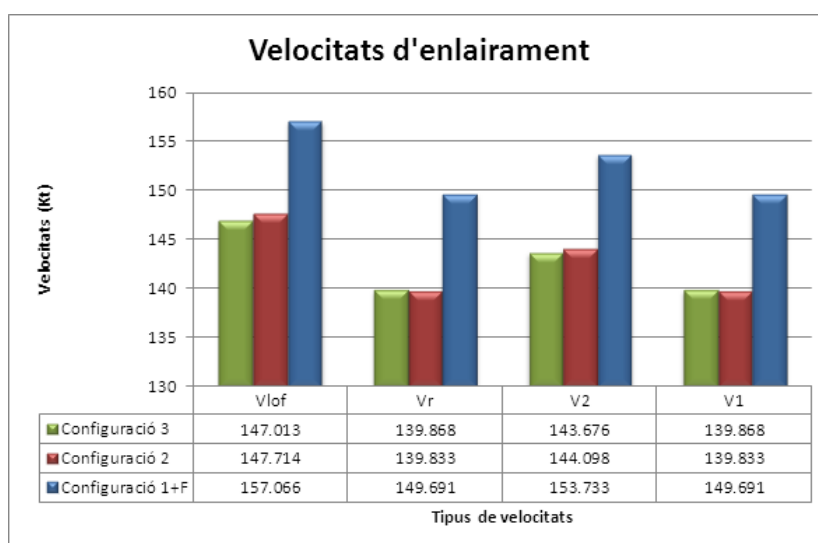


Fig. 6.7. Velocitat d'enlairament vs Configuracions - A320 EDFH

Observant el gràfic podem concloure en primera instància que la configuració d'enlairament CONF 1+F suposa unes velocitats d'operació considerablement més elevades que amb d'altres configuracions. El que és lògic perquè a més extensió dels elements hipersustentadors, més sustentació generada i per tant menys velocitat es necessita per assolir la sustentació necessària.

Les velocitats d'operació dels enlairaments amb configuració CONF 2 són gairebé idèntiques als realitzats amb configuració CONF 3. Les corresponents a la configuració CONF 2 són mínimament superiors a les de la configuració CONF 3.

Tal i com es veu a la taula 2.1, l'extensió dels flaps canvia en cada una de les configuracions mentre que la dels slats només varia entre la configuració 1+F i les configuracions CONF 2 i CONF 3.

Sent així s'arriba a la conclusió que l'element que més influeix i fa variar les velocitats a l'enlairament és el grau d'extensió dels slats, mentre que els dels flaps no és tant condicionant. Aquest argument es demostra veient que a

l'augmentar 4° els slats (i 5° els flaps) (de la configuració 1+F a la 2), la velocitat s'augmenta en 10 Kt, mentre que augmentant 5° només els flaps, la velocitat té un augment gairebé negligible.

6.3.3 Estudi del gradient del 1er segment respecte la relació V2/Vs

Seguidament extraiem el gràfic que ens relaciona el gradient del primer segment amb la relació de les velocitats V2 i Vr (Figura 6.8). Per a dur a terme aquest gràfic hem fet servir la ruta de Hahn amb el model A320 amb *Cost index* de 0 Kg/min i un *payload* del 75%.

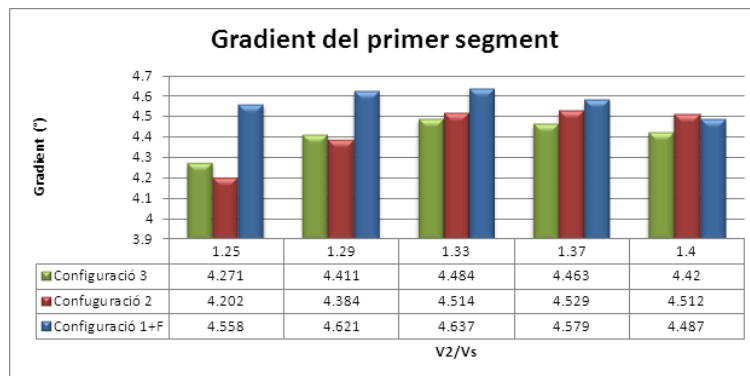


Fig. 6.8. Gradient 1r segment vs V2/Vs - A320 EDFH

Veiem que el gràfic es pot dividir en 2 parts segons la forma i creixement de les barres. Fins a la relació de velocitats $V2/Vs = 1.33$ els resultats segueixen una tendència, i a partir d'aquest punt en segueixen una altra.

Primerament detectem que la configuració d'enlairament CONF 1+F és la que provoca un gradient més pronunciat en el primer segment de la maniobra d'enlairament. Aquest destaca per sobre dels gradients causats per les altres 2 configuracions, però a mesura que s'augmenta la relació $V2/Vs$, més augmenta el gradient corresponent a les configuracions CONF 2 i CONF 3 i menys augmenta el corresponent a la configuració CONF 1+F. Així cada vegada destaca menys la diferència entre el gradient de la primera configuració amb els de les 2 segones. De fet el valor del gradient de la configuració CONF 1+F és el que menys varia segons la relació $V2/Vs$, mentre que els altres 2 fluctuen de forma més pronunciada al llarg de l'escombrada de $V2/Vs$.

Això es compleix com hem dit fins al valor de relació de velocitats 1.33. A partir de $V2/Vs = 1.37$ la diferència entre els gradients proporcionats per cada configuració és mínima, i els valors d'aquests disminueixen respecte els anteriors en lloc d'augmentar com fins ara (excepte per la configuració 2). En el cas de $V2/Vs = 1.4$ les 3 configuracions també mantenen uns valors molt similars i inferiors al cas anterior. En aquesta ocasió és la configuració 2 la que proporciona un gradient major, seguida per la CONF 1+F i finalment la CONF 3.

Així doncs arribem a la conclusió que entre la relació de velocitats $V2/Vs$ 1.33 i 1.37 l'angle d'ascens és màxim pel que es dedueix que la resistència aerodinàmica és mínima i per tant la finesa màxima.

6.4 OFP: Càlcul de les distàncies d'enlairament

A continuació mostrem i analitzem detalladament un cas concret com a mostra de tots els resultats. Per a veure la totalitat de resultats obtinguts amb el mòdul OFP consultar l'Annex C del CD inclòs en aquesta memòria.

6.4.1 Cas ideal

6.4.1.1 Estudi de les distàncies d'enlairament respecte la relació de velocitats $V2/Vs$ per diferents configuracions d'enlairament

La relació existent entre les distàncies d'enlairament, la velocitat $V2$ i la configuració d'enlairament es presenta en el gràfic de la Figura 6.9.

Tot corresponent al vol a Hahn amb el model A320, *Cost index* nul i *payload* del 70%.

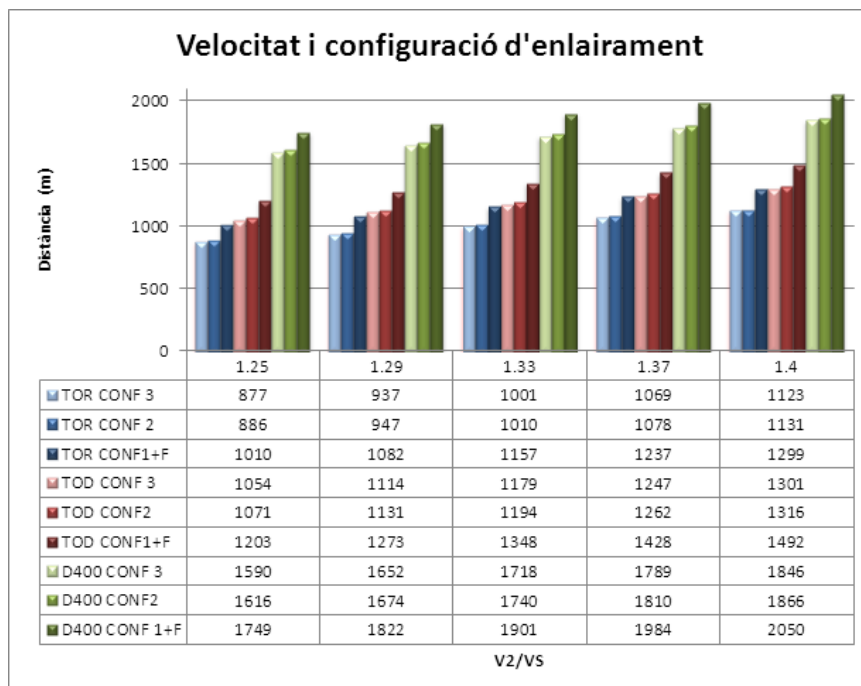


Fig. 6.9. Distància vs $V2/Vs$ i CONF - A320 EDFH

En primera instància s'observa que el gràfic manté un creixement constant. Això és degut a que a l'augmentar la velocitat V_2 , és necessària una major distància de pista per a l'enlairament de l'avió.

Si prestem atenció a la relació entre les distàncies i la configuració d'enlairament, la diferència pel que fa a la distància d'un enlairament realitzat amb configuració 3 i un amb configuració 2 és gairebé inexistent

La raó per la qual no es produeix diferència entre les configuracions 3 i 2, és la que hem vist anteriorment (apartat 6.3.2): que els slats són més condicionants que els flaps, i de la configuració 3 a la 2, no varia l'extensió de slats. Per tant, com s'observa al gràfic de la Figura 6.7, per les configuracions 3 i 2 és necessària la mateixa velocitat per a dur a terme l'enlairament, així doncs, la distància necessària també és la mateixa.

6.4.1.2 Estudi de les distàncies d'enlairament respecte el payload

Observem aquí la dependència de les distàncies d'enlairament amb el *payload*. Correspon al cas del vol a Hahn amb *Cost index* nul, configuració d'enlairament 1+F i $V_2/V_s=1.4$ (Figura 6.10).

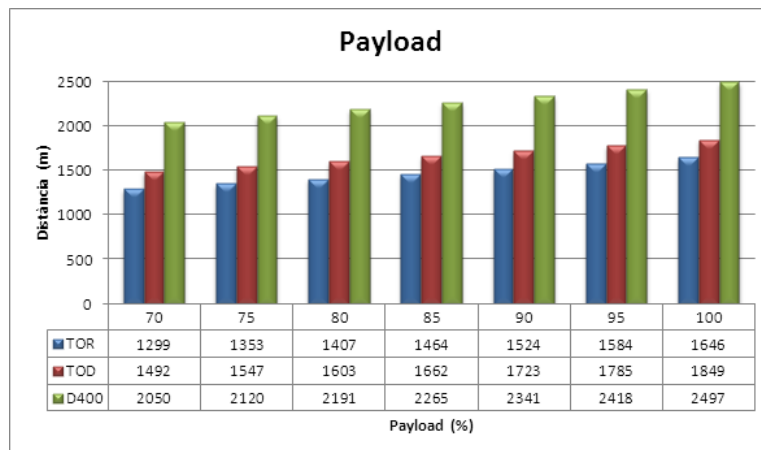


Fig. 6.10. Distància vs PL - A320 EDFH

Un augment del valor del *payload* correspon a un augment de les distàncies d'enlairament (TOR, TOD i distància als 400 ft).

Particularitzem per als diferents casos:

- A l'incrementar en un 5% el PL, la TOR s'allarga 50 m de mitjana, entre el PL 70 i 100 %, que és el rang estudiat.
- Pel cas de la TOD, veiem que un augment d'un 5% del PL representa prolongar la distància 51 m de mitja.

- Si ens fixem amb la distància als 400 ft d'alçada, l'augment del 5% en el PL provoca que aquesta distància de mitjana s'incrementi 64 m.

Així podem afirmar que la distància més afectada per l'augment de la càrrega de pagament transportada és la distància als 400 ft, que correspon al segment de l'enlairament on es recreen els flaps i s'accelera.

6.4.1.3 Estudi de les distàncies d'enlairament respecte el Cost index

El gràfic de la Figura 6.11 demostra com varia la distància d'enlairament respecte el *Cost index*.

Pres com a exemple també el cas del vol a Hahn amb PL=70 %, configuració d'enlairament 1+F i $V2/Vs=1.4$.

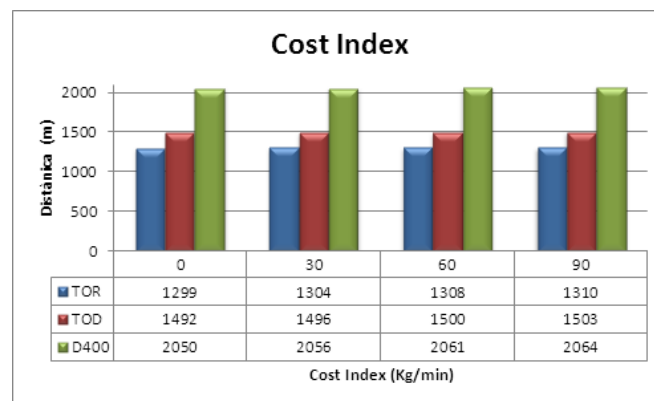


Fig. 6.11. Distància vs CI - A320 EDFH

En tot el rang de *Cost index* analitzat trobem que el valor de les 3 distàncies d'enlairament varia de forma gairebé negligible.

Vegem-ho detalladament cas a cas:

- Constatem que la diferència de distància entre el mínim *Cost index* i el màxim en el cas de la TOR és d'11 m, que sobre el màxim de 1310 m correspon a 0.84%.
- Pel que fa a la TOD la diferència entre el CI=0 i el CI=90 Kg/min també és d'11 m, que en aquest cas representa una diferència del 0.73%.
- En el cas de la distància als 400 ft té un valor amb els diferents *Cost index* al voltant de 2000 m. L'increment màxim és de 14 m, el que equival a un 0.68%.

Així doncs ens adonem que el cost del vol afecta mínimament a la distància requerida per a dur a terme l'enlairament. Això és degut a que un major CI

implica un augment en el pes, ja que representa més combustible i tot plegat repercuteix sobre les distàncies d'enlairament que han de ser majors.

6.4.2 Cas real: pista LEGE RWY02

6.4.2.1 Estudi de les distàncies d'enlairament respecte la relació de velocitats $V2/Vs$ per diferents configuracions d'enlairament

Comprovem tot seguit (Figura 6.12) com afecta la presència dels obstacles de la pista de Girona a les distàncies d'enlairament, la velocitat $V2$ i la configuració d'enlairament.

Per tal de fer una comparació coherent, lògicament estudiem el mateix vol que en el cas ideal. Recordem: vol a Hahn amb el model A320, *Cost index* nul i *payload* del 70%.

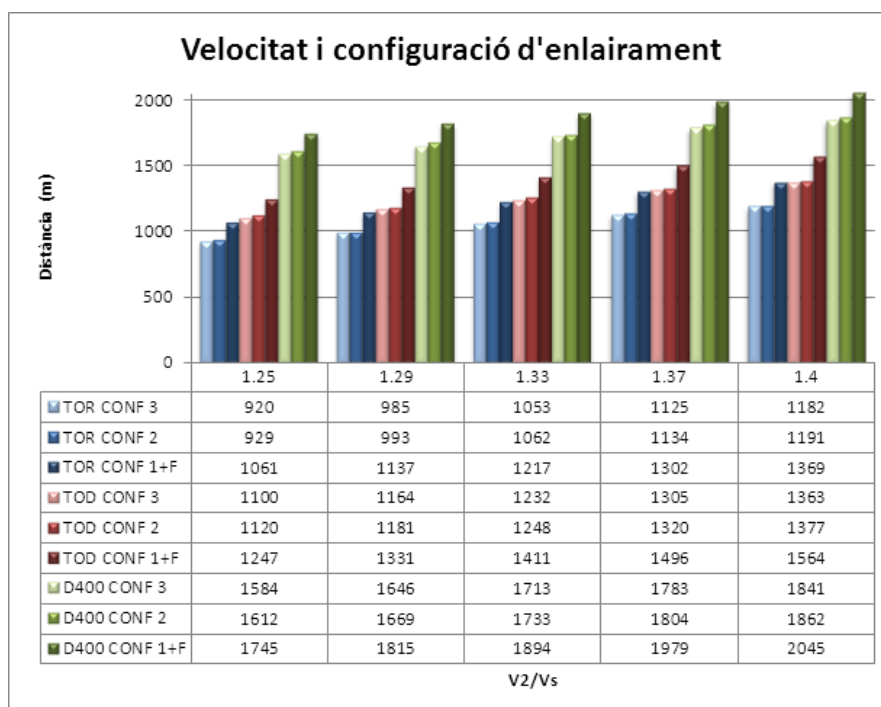


Fig. 6.12. Distància vs $V2/Vs$ i CONF - A320 EDFH – LEGE RWY02

6.4.2.2 Estudi de les distàncies d'enlairament respecte el payload

Veiem ara les limitacions que representen els obstacles en la relació de les distàncies d'enlairament amb el *payload*. Com tots els casos exemplificats en l'apartat: vol a Hahn amb *Cost index* nul, configuració d'enlairament 1+F i $V2/Vs=1.4$ (Figura 6.13).

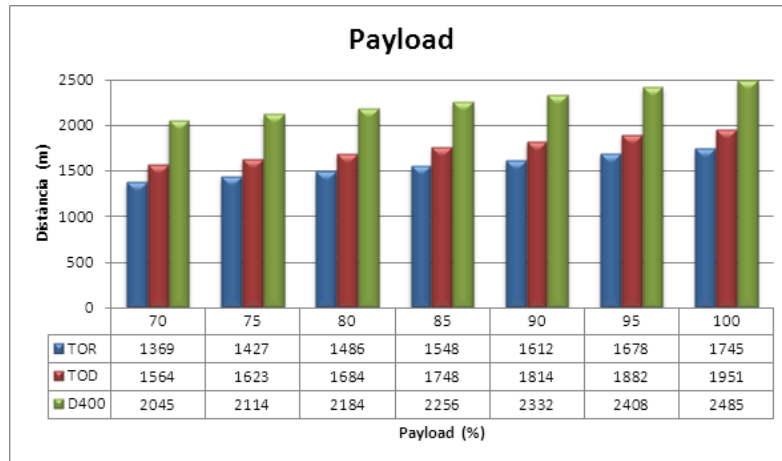


Fig. 6.13. Distància vs PL - A320 EDFH - LEGE RWY02

6.4.2.3 Estudi de les distàncies d'enlairament respecte el Cost index

La limitació sobre el *Cost index* que suposa la presència dels obstacles es mostra en el gràfic de la Figura 6.14.

Com sempre el vol estudiat és el vol a Hahn amb PL=70 %, configuració d'enlairament 1+F i $V2/Vs=1.4$.

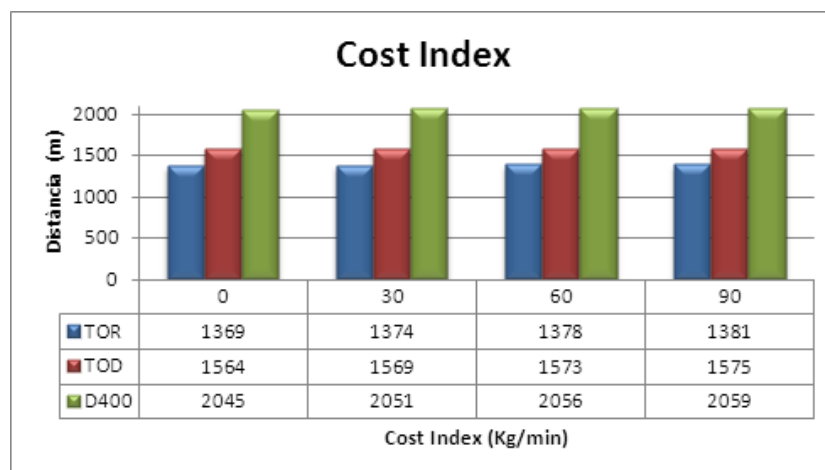


Fig. 6.14. Distància vs CI - A320 EDFH - LEGE RWY02

6.4.2.4 Comparació del cas ideal amb el cas real

Els 3 gràfics de les Figures 6.12 6.13 i 6.14 tenen un comportament igual al dels presentats a l'apartat 6.4.1 i per tant el seu anàlisi és idèntic al raonat en tal apartat.

Si comparem els resultats obtinguts amb el cas ideal, comprovem que la TOR i la TOD augmenten el seu valor mentre que la distància als 400 ft disminueix de forma mínima.

Concloem doncs, que la presència d'obstacles a la pista, fa augmentar, tot i que no de forma destacada, les distància de pista necessària i gairebé es manté inalterada la distància quan l'avió es troba a 400 ft d'alçada.

Aquest fet pot ser degut a que la presència d'obstacles obliga l'avió a prendre major alçada més ràpidament (ascendir amb major inclinació). Per aconseguir-ho cal que s'enlairi amb més velocitat i per assolir aquesta major velocitat necessita més rodatge a la pista.

7. CONCLUSIONS

L'objectiu principal d'aquest estudi consisteix en analitzar la distància a la que un avió assoleix els 400 ft d'alçada per sobre de la pista i pot iniciar un procediment d'atenuació de soroll a l'enlairament. S'ha considerat la pista RWY02 de l'aeroport de Girona per a vols amb 5 destinacions i 2 avions diferents. Veiem que aquest procediment ha de començar, en el cas més restrictiu, a 2865 m des de l'inici de la pista, mentre que el mínim el trobem als 1545 m. Aquest cas màxim correspon als vols amb destinació Helsinki-Vantaa, amb el model A321, amb la màxima velocitat V_2 , el màxim *payload*, el màxim *CI* i la configuració d'enlairament de menys extensió dels elements hipersustentadors. Si observem les poblacions properes al llindar de la pista, detectem que cap té una ubicació als voltants immediats. Així doncs, inclús el cas d'inici del procediment d'atenuació de soroll més tardà (2865 m des de la capçalera de pista), és possible començar-lo a aplicar amb un marge suficient com perquè se'n vegin beneficiats tots els municipis veïns.

Referent a la magnitud del condicionament que suposa la presència dels obstacles i la llargada limitada de la pista de Girona a la maniobra d'enlairament, concloem el següent: a causa de l'existència d'aquests obstacles l'avió necessàriament ha d'acomplir un ascens amb major angle de pujada, per tal d'assolir més alçada en el mateix temps i evitar els obstacles. Per a que així sigui, és indispensable més velocitat a l'enlairament, fet que s'aconsegueix rodant més temps a la pista. És per aquest motiu que la llargada de la pista necessària (TOR i TOD) és major i la distància als 400 ft d'alçada disminueix ínfimament o es manté. I així ho demostren les simulacions amb cas de pista ideal i amb cas de pista real efectuades.

D'altra banda, l'anàlisi en quant a l'operació dels vols, ens permet treure'n diferents conclusions. Detallem l'afectació dels diferents paràmetres de *performance* en les distàncies d'enlairament:

- El *Cost index* no fa alterar pràcticament la TOR, la TOD i la distància als 400 ft d'alçada.
- Un augment del *payload* implica un augment de la TOR, la TOD i la distància als 400 ft.
- En referència a la configuració d'enlairament (flaps i slats), podem afirmar que els slats tenen una repercussió més notable sobre les distàncies d'enlairament que els flaps. Augmentant els primers, disminueixen la TOR, la TOD i la distància als 400 ft.
- Augmentant la velocitat d'enlairament V_2 , augmenten les distàncies d'enlairament TOR, TOD i la distància als 400 ft.

Considerant totes aquestes conclusions prèvies, la conclusió final és que amb una extensió de flaps i slats màxima, la mínima velocitat V_2 permesa i el mínim *payload* considerat (70%), s'aconsegueix que l'inici de procediment d'atenuació del soroll sigui a la mínima distància possible, fet que implica tenir un enlairament amb les mínimes afectacions possibles d'impacte acústic sobre l'entorn.

En aquest projecte s'han calculat, creat i processat tots els casos de vols considerats. A l'apartat de resultats s'ha dut a terme un anàlisi i interpretació en profunditat d'una petita part de la totalitat de les dades generades. Com que tals dades analitzades no són representatives de l'enteresa de les dades, és possible com a treball futur realitzar un estudi estàtic més detallat de la gran quantitat de dades obtingudes. Una altra opció de continuïtat del projecte és finalitzar tot el procediment d'atenuació del soroll a partir del nostre estudi de la fase inicial d'aquest. També en quant a l'impacte acústic, hi ha l'opció d'utilitzar els mòduls NLC i NEX del PEP que fan diferents càlculs referents al soroll. En el cas de l'NLC és necessari prèviament treballar amb el mòdul OFP, cosa que ja hem fet en el present projecte.

8. BIBLIOGRAFIA

- [1] Eurocontrol, *Eurocontrol Long-Term Forecast: IFR Flight Movements 2008-2030*, Eurocontrol, Brussel-les (Bèlgica) (2008).
- [2] FAA, *FAA Aerospace Forecast: Fiscal Years 2009-2025*, Federal Aviation Administration, (2009).
- [3] The Parliamentary Office Of Science And Technology, *Aviation and the environment. Report Summary*, N° 195, Londres (Regne Unit) (2003).
Disponible a: <http://www.parliament.uk/post>
- [4] GAO. *Report to the ranking democratic member, committee on transportation and infrastructure, house of representatives. aviation and the environment: Airport operations and future growth present environmental challenges*, House of Representatives-General Accounting Office. N°: GAO/RCED-00-153. Washington, D.C. (EUA) (2000).
Disponible a: <http://www.gao.gov/archive/2000/rc00153.pdf>
- [5] Girvin, R. "Aircraft noise-abatement and mitigation strategies", *Journal of air transport management*, 15 (1), 14–22 (2009).
- [6] Air Traffic Control The Netherlands, *Noise Abatement Procedures (NAP) at Schiphol airport*. Publicació d'Informació Aeronàutica (AIP) – Part AD-EHAM 2.21, Amsterdam (Països Baixos) (2009).
Disponible a: <http://www.ais-netherlands.nl/aim/index.html>
- [7] Aena, *Madrid Barajas Standard Instrumental Departures (SID)*. Publicació d'Informació Aeronàutica (AIP) – Part AD-LEMD.
Disponible a: <http://www.aena.es>
- [8] Visser, Hendrikus G., & Wijnen, Roland A.A., "Optimization of noise abatement departure trajectories", *Journal of aircraft*, 38 (4), 620–627 (2001).
- [9] Wijnen, Roland A.A., & Visser, Hendrikus G., "Optimal departure trajectories with respect to sleep disturbance", *Aerospace science and technology*, 7, 81–91 (2003).
- [10] Xue, Min, & Atkins, Ella M. "Noise-minimum runway-independent aircraft approach design for Baltimore-Washington international airport", *Journal of aircraft*, 43 (1), 39–51 (2006).
- [11] Prats, X., Puig, V. & Quevedo, J. "Equitable aircraft noise abatement departure procedures", *Journal of Guidance, Control and Dynamics*, 34 (1) 192-203 (2011).

- [12] Prats, X., Puig, V. & Quevedo, J. "A multi-objective optimization strategy for designing aircraft noise abatement procedures. Case study at Girona airport. Transportation Research", *Transport and Environment.*, 16 (1), 31-41 (2011)
- [13] ICAO, *Procedures for air navigation services - aircraft operations (PANS-OPS)*, Volum I flight procedures Doc. 8168, International Civil Aviation Organisation, Montreal (Canadà) (2006)
- [14] European Council, *Council Regulation (EEC) No 3922/91 on the harmonisation of technical requirements and administrative procedures in the field of civil aviation*, EU-OPS.
- [15] Isidoro Carmona, A., *Aerodinámica y actuaciones del avión*, International Thomson Paraninfo, Madrid (2004).
- [16] Galán Herranz, J. I., Organització, Explotació i Manteniment d'Aeroports (EETAC – UPC), *Aeropuerto y transporte aéreo. Lado aire* (2010).
- [17] Delgado Muñoz, L., Transport Aeri (EETAC – UPC), *Limitaciones en el despegue* (2007).
- [18] Viquipèdia: <http://www.wikipedia.org/>
Darrera visita: Abril 2011
- [19] AIRBUS, *Performance Program Manual* (2006).
- [20] Aena: *Publicació d'Informació Aeronàutica (AIP)*
<http://www.aena.es/csee/Satellite/navegacion-aerea/es/Page/1078418725163/?other=1083158950596#ancla3>
Darrera visita: Març 2011
- [21] AIRBUS: <http://www.airbus.com/>
Darrera visita: Març 2011
- [22] Becerro Martínez, A., *Introducción a Shell Script*, Alcobendas (2005).
- [23] #rm-rf.es | Administración de sistemas: <http://www.rm-rf.es>
Darrera visita: Maig 2011
- [24] Scrips para bash: <http://www.qfc.edu.co/~johsot/resquiali.html>
Darrera visita: Maig 2011
- [25] Linux blog: <http://www.120linux.com>
Darrera visita: Maig 2011
- [26] AIRBUS, *A318/A319/A320/A321 Flight Crew Operating Manual*.

ANNEX A. OBSTACLES CONSIDERATS A L'ENLAIRAMENT DE LA PISTA 02 DE GIRONA

A.1 Introducció d'obstacles al Google Earth

Per tal de posicionar i visualitzar els obstacles i veure si afecten als enlairaments simulats vam decidir introduir tots els obstacles que apareixen a l'AIP de Girona [1] (veure Taula A.1) dins del Google Earth. Els fitxers amb que treballa aquest programa són de format KML, un tipus específic d'XML i de fàcil manipulació [2].

L'objectiu era visualitzar els obstacles directament a l'entorn de la pista per tal de descartar tots aquells obstacles que quedaven fora de l'àrea de protecció per sortides en línia recta que especifica la normativa EU-OPS. [3]



Taula 8.1. Obstacles RWY02

















DESIGNACIÓN DESIGNATION	DESCRIPCIÓN DESCRIPTION	COORDENADAS COORDINATES	ELEV / HGT (M)	BALIZADO MARKED
LEGE-OBS02-0107-2009	Árbol / Tree	415339.7N 0024525.8E	136.2 / -	-
LEGE-OBS02-0794-2009	Arboleda / Grove	415336.8N 0024533.2E	132.1 / -	-
LEGE-OBS02-0795-2009	Arboleda / Grove	415334.6N 0024530.9E	136.9 / -	-
LEGE-OBS02-0796-2009	Arboleda / Grove	415333.8N 0024530.8E	133.0 / -	-
LEGE-OBS02-0798-2009	Arboleda / Grove	415334.0N 0024528.0E	126.6 / -	-
LEGE-OBS02-0813-2009	Arboleda / Grove	415323.4N 0024518.4E	135.5 / -	-
LEGE-OBS02-0818-2009	Arboleda / Grove	415323.2N 0024522.3E	133.6 / -	-
LEGE-OBS02-0824-2009	Árbol / Tree	415314.2N 0024525.2E	141.1 / -	-
LEGE-OBS20-0030-2009	Árbol / Tree	415501.9N 0024555.2E	151.3 / -	-
LEGE-OBS20-0031-2009	Árbol / Tree	415501.2N 0024553.5E	149.8 / -	-
LEGE-OBS20-0851-2009	Arboleda / Grove	415515.7N 0024557.0E	157.0 / -	-
LEGE-OBS20-0853-2009	Edificio / Building	415524.7N 0024555.9E	161.9 / -	-
LEGE-CIR-0109-2009	Árbol / Tree	415547.7N 0024435.2E	216.5 / -	-
LEGE-CIR-0109-2009	Árbol / Tree	415511.5N 0024403.1E	235.1 / -	-
LEGE-CIR-0111-2009	Torre eléctrica / Electricity pylon	415656.5N 0024410.2E	300.1 / -	-
LEGE-CIR-0112-2009	Torre eléctrica / Electricity pylon	415657.7N 0024414.7E	321.7 / -	-
LEGE-CIR-0113-2009	Árbol / Tree	415637.4N 0024243.8E	333.7 / -	-
LEGE-CIR-0114-2009	Torre eléctrica / Electricity pylon	415927.6N 0024308.3E	433.4 / -	-
LEGE-CIR-0115-2009	Vértice geodésico / Geodesic vortex	415932.6N 0024254.4E	500.9 / -	-
LEGE-CIR-0116-2009	Torre eléctrica / Electricity pylon	415922.5N 0024303.1E	427.2 / -	-
LEGE-CIR-0117-2009	Torre eléctrica / Electricity pylon	415626.1N 0024749.0E	166.6 / -	-
LEGE-CIR-0118-2009	Torre eléctrica / Electricity pylon	415625.1N 0024754.3E	161.4 / -	-
LEGE-CIR-0119-2009	Antena comunicaciones / Aerial mast	415539.0N 0024730.4E	182.8 / -	-
LEGE-CIR-0838-2009	Poste de madera / Wooden pole	415651.6N 0025201.1E	239.2 / -	-
LEGE-CIR-0840-2009	Torre eléctrica / Electricity pylon	415709.8N 0025214.0E	311.5 / -	-
LEGE-CIR-0841-2009	Arboleda / Grove	415703.6N 0025205.5E	257.3 / -	-
LEGE-CIR-0842-2009	Antena / Antenna	415629.6N 0025049.7E	187.7 / -	-
LEGE-CIR-0845-2009	Antena comunicaciones / Aerial mast	415836.9N 0025007.4E	297.5 / -	-
LEGE-CIR-0846-2009	Antena metálica / Metalic Antenna	415404.1N 0025049.1E	212.9 / -	-
LEGE-CIR-0848-2009	Torre eléctrica / Electricity pylon	415135.8N 0024548.6E	174.8 / -	-
LEGE-CIR-0910-2009	Antena comunicaciones / Aerial mast	415348.9N 0024603.8E	168.7 / -	-
LEGE-CIR-0981-2009	Vértice geodésico / Geodesic vortex	414900.4N 0024759.4E	154.5 / -	-
LEGE-CIR-1002-2009	Vértice geodésico / Geodesic vortex	415654.3N 0024555.6E	196.8 / -	-
LEGE-CIR-1010-2009	Vértice geodésico / Geodesic vortex	415404.9N 0024049.6E	301.8 / -	-
LEGE-CIR-1013-2009	Vértice geodésico / Geodesic vortex	415344.6N 0024839.6E	119.8 / -	-

LEGE-CIR-0111-2009	Torre eléctrica / Electricity pylon	415656.5N 0024410.2E	300.1 / -	-
LEGE-CIR-0112-2009	Torre eléctrica / Electricity pylon	415657.7N 0024414.7E	321.7 / -	-
LEGE-CIR-0113-2009	Árbol / Tree	415637.4N 0024243.8E	333.7 / -	-
LEGE-CIR-0114-2009	Torre eléctrica / Electricity pylon	415927.6N 0024308.3E	433.4 / -	-
LEGE-CIR-0115-2009	Vértice geodésico / Geodesic vortex	415932.6N 0024254.4E	500.9 / -	-
LEGE-CIR-0116-2009	Torre eléctrica / Electricity pylon	415922.5N 0024303.1E	427.2 / -	-
LEGE-CIR-0117-2009	Torre eléctrica / Electricity pylon	415626.1N 0024749.0E	166.6 / -	-
LEGE-CIR-0118-2009	Torre eléctrica / Electricity pylon	415625.1N 0024754.3E	161.4 / -	-
LEGE-CIR-0119-2009	Antena comunicaciones / Aerial mast	415539.0N 0024730.4E	182.8 / -	-
LEGE-CIR-0838-2009	Poste de madera / Wooden pole	415651.6N 0025201.1E	239.2 / -	-
LEGE-CIR-0840-2009	Torre eléctrica / Electricity pylon	415709.8N 0025214.0E	311.5 / -	-
LEGE-CIR-0841-2009	Arboleda / Grove	415703.6N 0025205.5E	257.3 / -	-
LEGE-CIR-0842-2009	Antena / Antenna	415629.6N 0025049.7E	187.7 / -	-
LEGE-CIR-0845-2009	Antena comunicaciones / Aerial mast	415836.9N 0025007.4E	297.5 / -	-
LEGE-CIR-0846-2009	Antena metálica / Metallic Antenna	415404.1N 0025049.1E	212.9 / -	-
LEGE-CIR-0848-2009	Torre eléctrica / Electricity pylon	415135.8N 0024548.6E	174.8 / -	-
LEGE-CIR-0910-2009	Antena comunicaciones / Aerial mast	415348.9N 0024603.8E	168.7 / -	-
LEGE-CIR-0981-2009	Vértice geodésico / Geodesic vortex	414900.4N 0024759.4E	154.5 / -	-
LEGE-CIR-1002-2009	Vértice geodésico / Geodesic vortex	415654.3N 0024555.6E	196.6 / -	-
LEGE-CIR-1010-2009	Vértice geodésico / Geodesic vortex	415404.9N 0024049.6E	301.8 / -	-
LEGE-CIR-1013-2009	Vértice geodésico / Geodesic vortex	415344.6N 0024839.6E	119.9 / -	-
LEGE-OBS20-0027-2009	Árbol / Tree	415501.9N 0024558.1E	146.3 / -	-
LEGE-OBS20-0028-2009	Árbol / Tree	415504.5N 0024556.4E	146.7 / -	-
LEGE-OBS20-0029-2009	Árbol / Tree	415503.5N 0024556.2E	145.9 / -	-
LEGE-OBS20-0121-2009	Baliza aproximación / Approach marker	415459.3N 0024559.1E	143.8 / -	-
LEGE-OBS20-0122-2009	Baliza aproximación / Approach marker	415500.2N 0024559.5E	144.6 / -	-
LEGE-OBS20-0123-2009	Baliza aproximación / Approach marker	415501.2N 0024559.3E	144.8 / -	-
LEGE-OBS20-0124-2009	Baliza aproximación / Approach marker	415501.2N 0024559.5E	144.8 / -	-
LEGE-OBS20-0125-2009	Baliza aproximación / Approach marker	415501.2N 0024559.6E	144.8 / -	-
LEGE-OBS20-0126-2009	Baliza aproximación / Approach marker	415501.2N 0024559.7E	144.8 / -	-
LEGE-OBS20-0127-2009	Baliza aproximación / Approach marker	415501.1N 0024559.8E	144.8 / -	-
LEGE-OBS20-0128-2009	Baliza aproximación / Approach marker	415501.1N 0024559.9E	144.7 / -	-
LEGE-OBS20-0129-2009	Baliza aproximación / Approach marker	415501.1N 0024600.1E	144.7 / -	-
LEGE-OBS20-0130-2009	Baliza aproximación / Approach marker	415501.1N 0024600.2E	144.9 / -	-
LEGE-OBS20-0131-2009	Baliza aproximación / Approach marker	415501.0N 0024600.3E	144.9 / -	-
LEGE-OBS20-0132-2009	Baliza aproximación / Approach marker	415502.1N 0024600.2E	145.2 / -	-
LEGE-OBS20-0133-2009	Baliza aproximación / Approach marker	415503.1N 0024600.6E	145.6 / -	-
LEGE-OBS20-0134-2009	Baliza aproximación / Approach marker	415504.0N 0024600.9E	146.2 / -	-
LEGE-OBS02-0107-2009	Árbol / Tree	415339.7N 0024525.8E	136.2 / -	-
LEGE-OBS02-0795-2009	Arboleda / Grove	415334.6N 0024530.9E	136.9 / -	-
LEGE-OBS02-0796-2009	Arboleda / Grove	415333.8N 0024530.8E	133.0 / -	-
LEGE-OBS02-0798-2009	Arboleda / Grove	415334.0N 0024528.0E	126.6 / -	-
LEGE-OBS02-0813-2009	Arboleda / Grove	415323.4N 0024518.4E	135.5 / -	-
LEGE-OBS02-0818-2009	Arboleda / Grove	415323.2N 0024522.3E	133.6 / -	-
LEGE-OBS02-0824-2009	Árbol / Tree	415314.2N 0024525.2E	141.1 / -	-

Després d'aquesta operació, els obstacles considerats per l'estudi són els següents:

Taula 8.2. Obstacles RWY02

DESIGNACIÓ	SÍMBOL	DESCRIPCIÓ	ELEVACIÓ (m)
LEGE-OBS20-0853-2009		Edifici	161.9
LEGE-OBS20-0851-2009		Arbreda	157.0
LEGE-OBS20-0028-2009		Arbre	146.7
LEGE-OBS20-0029-2009		Arbre	145.9

LEGE-OBS20-0030-2009		Arbre	151.3
LEGE-OBS20-0134-2009		Balisa d'aproximació	146.2
LEGE-OBS20-0133-2009		Balisa d'aproximació	145.6
LEGE-OBS20-0132-2009		Balisa d'aproximació	145.2
LEGE-OBS20-0123-2009		Balisa d'aproximació	144.8
LEGE-OBS20-0124-2009		Balisa d'aproximació	144.8
LEGE-OBS20-0125-2009		Balisa d'aproximació	144.8
LEGE-OBS20-0126-2009		Balisa d'aproximació	144.8
LEGE-OBS20-0127-2009		Balisa d'aproximació	144.8
LEGE-OBS20-0128-2009		Balisa d'aproximació	144.7
LEGE-OBS20-0129-2009		Balisa d'aproximació	144.7
LEGE-OBS20-0130-2009		Balisa d'aproximació	144.9
LEGE-OBS20-0131-2009		Balisa d'aproximació	144.9
LEGE-OBS20-0122-2009		Balisa d'aproximació	144.6
LEGE-OBS20-0121-2009		Balisa d'aproximació	143.8
LEGE-OBS20-0027-2009		Arbre	146.3

A.2 Bibliografia

- [1] Aena: *Publicació d'Informació Aeronàutica (AIP)*
<http://www.aena.es/csee/Satellite/navegacion-aerea/es/Page/1078418725163/?other=1083158950596#ancla3>
Darrera visita: Març 2011

- [2] Google Code: *Tutorial de KML*
http://code.google.com/intl/es/apis/kml/documentation/kml_tut.html
Darrera visita: Gener 2011

- [3] Normativa, *EU-OPS 1 Subpart G – Performance classe A* (2008).

ANNEX B. DETALL DE LES RUTES CONSIDERADES

En aquest apèndix es mostra el càlcul de distàncies de cada una de les rutes considerades per l'estudi. Per tal de fer això, s'ha elaborat un pla de vol considerant els procediments de sortida SID (*Standard Instrumental Departures*), els d'arribada STAR (*Standard Terminal Arrival Route*) i les aproximacions, així com les diferents aerovies de ruta que uneixen la sortida amb l'arribada. Tota la informació s'ha tret de les cartes de navegació disposades a les publicacions d'informació aeronàutica que ofereixen Eurocontrol [1] i Aena [2].

Es mostren les distàncies entre els punts de les aerovies així com la distància total per arribar a l'aeroport de destí. Per a calcular les distàncies s'han tingut en compte les operacions de sortida (SID) de l'aeroport de Girona, així com les d'arribada (STAR) i aproximació (APP) de l'aeroport de destí. Per a calcular la distància en l'aproximació, considerem que aquesta durarà uns 10 minuts. Tenint en compte que la velocitat aproximada de l'avió en aquest moment és de 200 kt, arribem a la conclusió que les aproximacions seran d'unes 35 NM.

B.1 Girona – Beauvais (LEGE - LFOB)

Taula 8.3. LEGE – LFOB

GIRONA-BEAUVAIS [LEGE - LFOB]			
ESPANYA	SID	VOR GIRONA	
		OLOT	25
		GEANT	17
FRANÇA	creuer	ROCAN	19
		VOR TOU	67
		FISTO	47
		PERIG	41
		FOUCO	43
		ADABI	48
		BOKNO	30
		DEVRO	27
		VANAD	22
		BENAR	45
	BOBSA	15	
	LGL	18	
	STAR	ELBOX	32
		KEREX	5
		ROU (ROUEN)	17
		MATID	21
		BV391 (BEAUVAIS)	18
APP	BV391 (BEAUVAIS)	35	
DIST TOTAL			592

- SID Girona

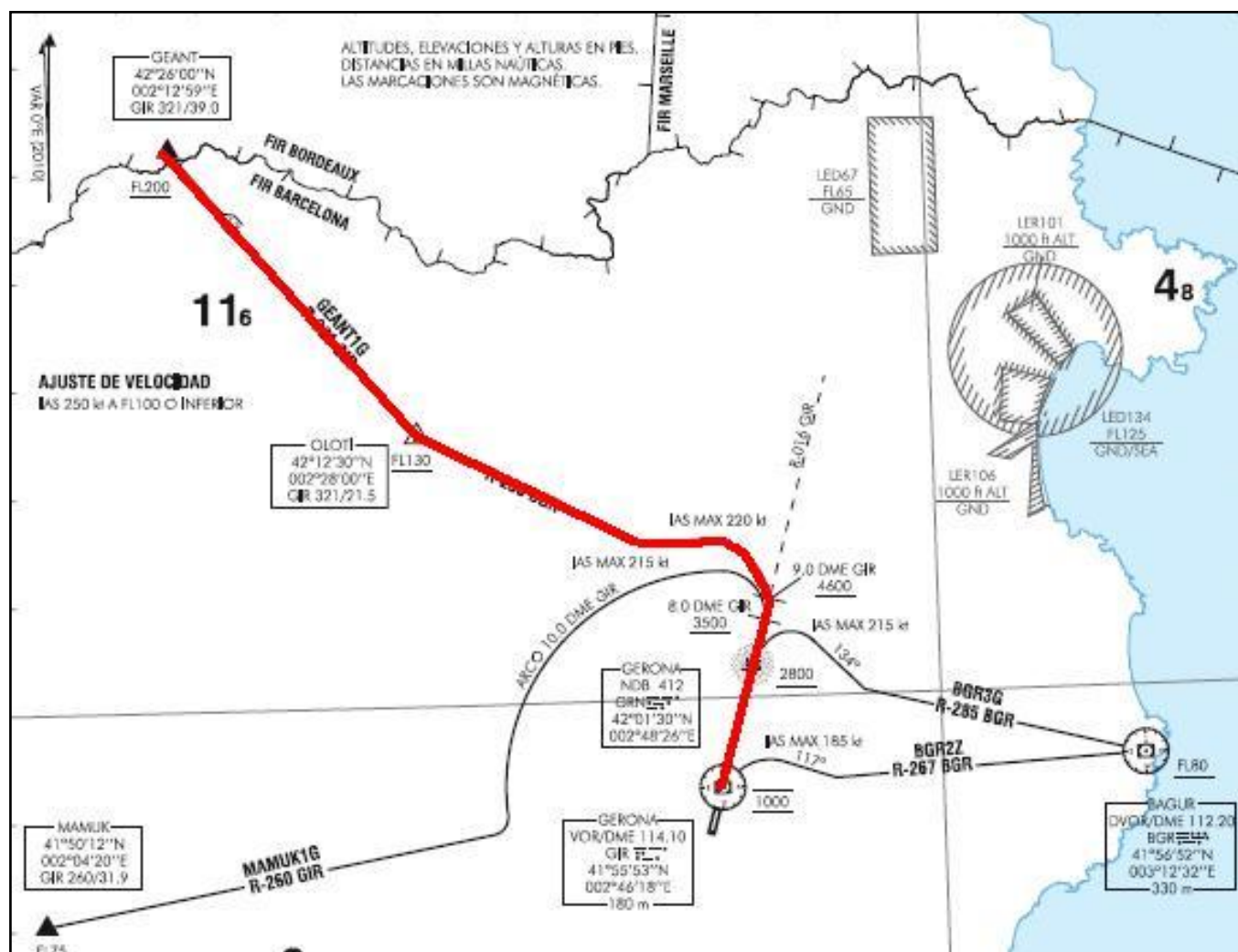


Fig. 8.1. VOR GIR - GEANT

- CREUER (França)

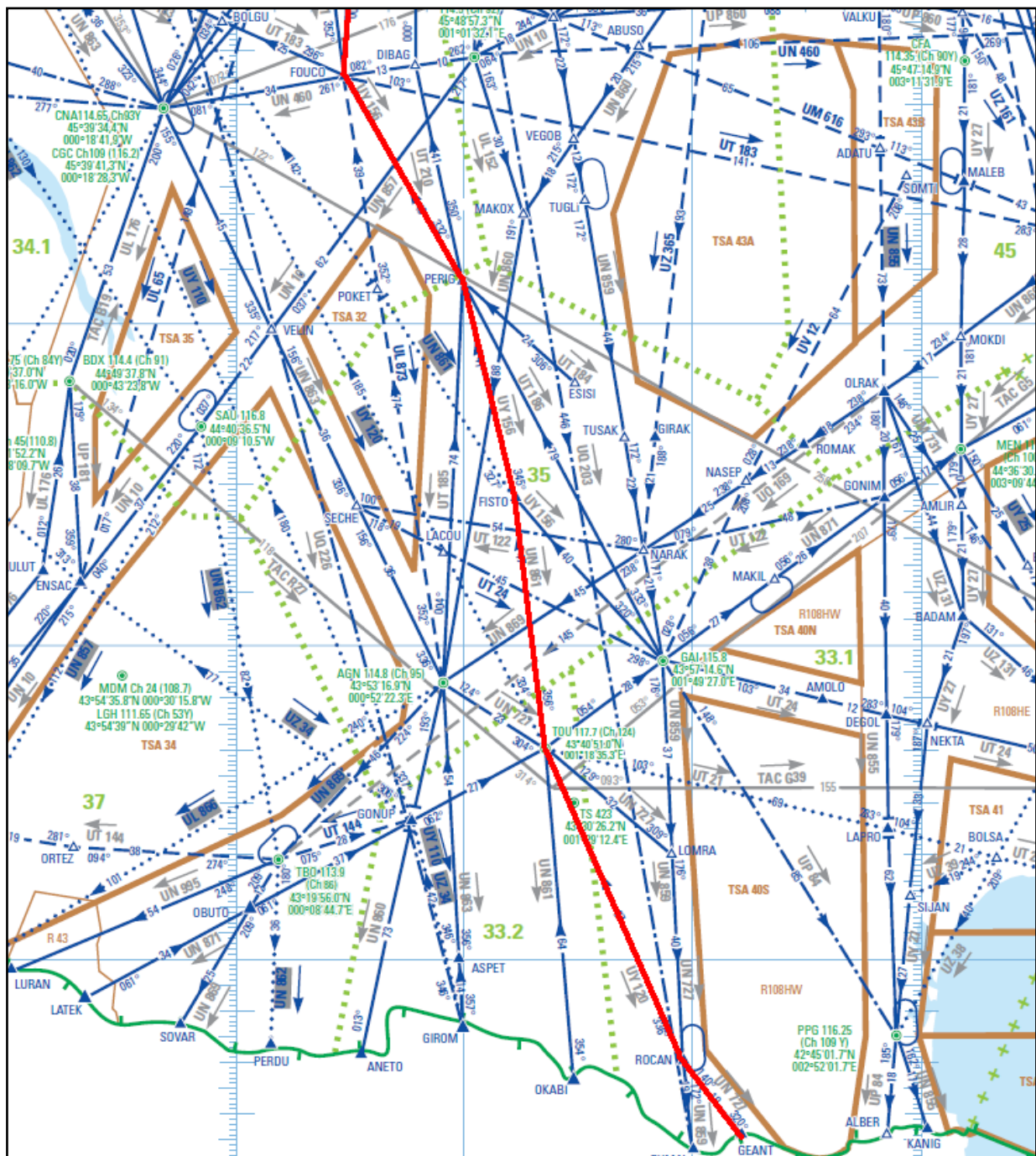


Fig. 8.2. GEANT - FOUCO

- STAR Beauvais

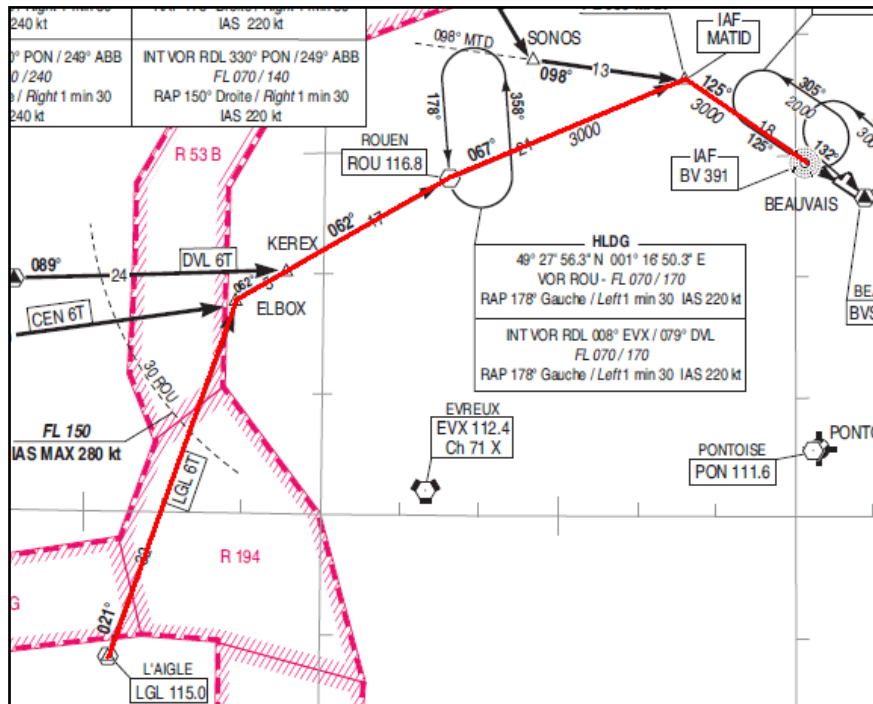


Fig. 8.5. LGL – BV391

B.2 Beauvais – Lesquin (LFOB - LFQQ) (alternatiu)

Taula 8.4. LFOB – LFQQ

BEUVAIS - LESQUIN [LFOB LFQQ]		
SID	BEUVAIS	
	ABB	50
STAR	LEQ	62
APP	LILLE LESQUIN	35
DIST TOTAL		147

- SID Beauvais

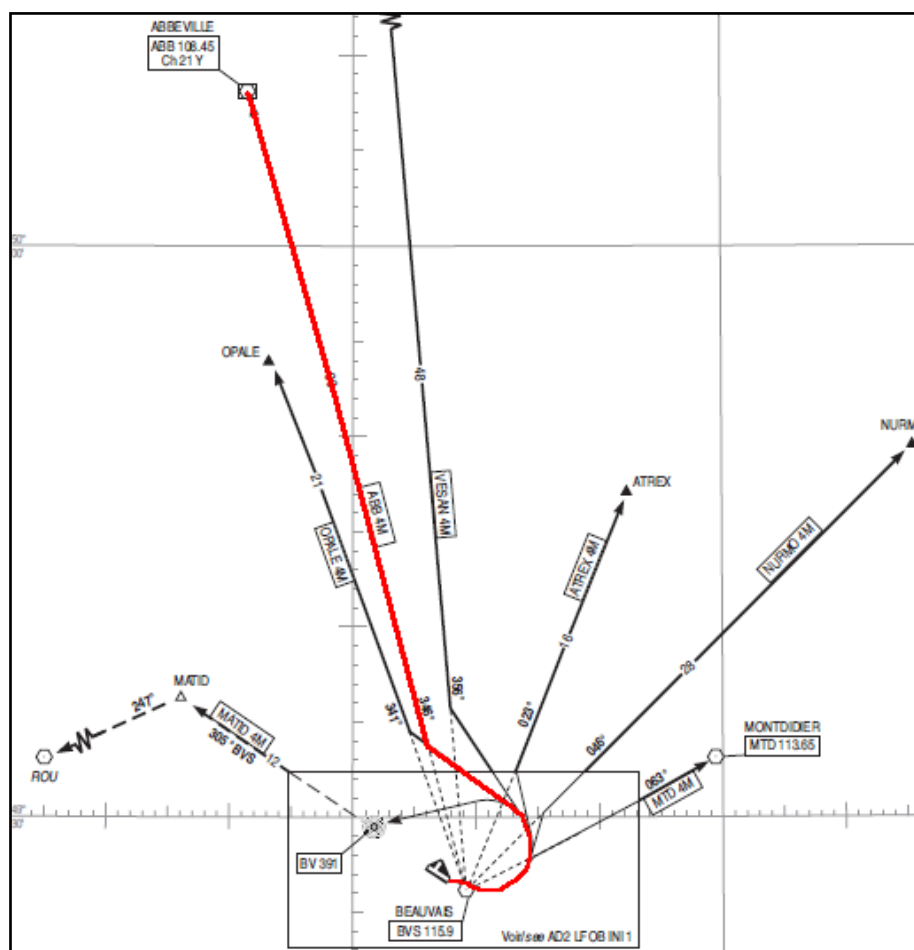


Fig. 8.6. BEAUVAIS - ABB

- STAR Lille Lesquin

En aquest cas no s'ha d'utilitzar vol de creuer ja que l'últim punt de la SID de Beauvais coincideix amb el primer punt de l'STAR de Lille Lesquin.

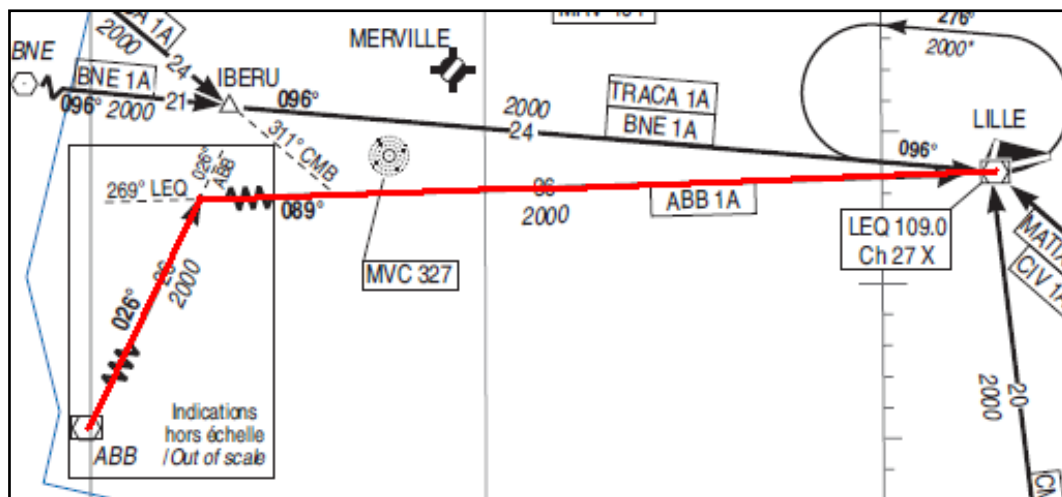


Fig. 8.7. ABB - LILLE

B.3 Girona – Stansted (LEGE - EGSS)

Taula 8.5. LEGE – EGSS

GIRONA-STANSTED [LEGE-EGSS]			
ESpanya	SID	VOR GIRONA	
		OLOT	25
		GEANT	17
FRANÇA	creuer	ROCAN	19
		VOR TOU	67
		LACOU	47
		TUPAR	185
		ANG	67
		DIKRO	123
		EPATI	13
		KOTEM	12
		AVANT	50
		REGNE UNIT	STAR
OCK	16		
VALTON	10		
BPK	21		
BKY	16		
BUSTA	7		
LOREL	6		
	APP	STANSTED	35
DIST TOTAL			758

- SID Girona

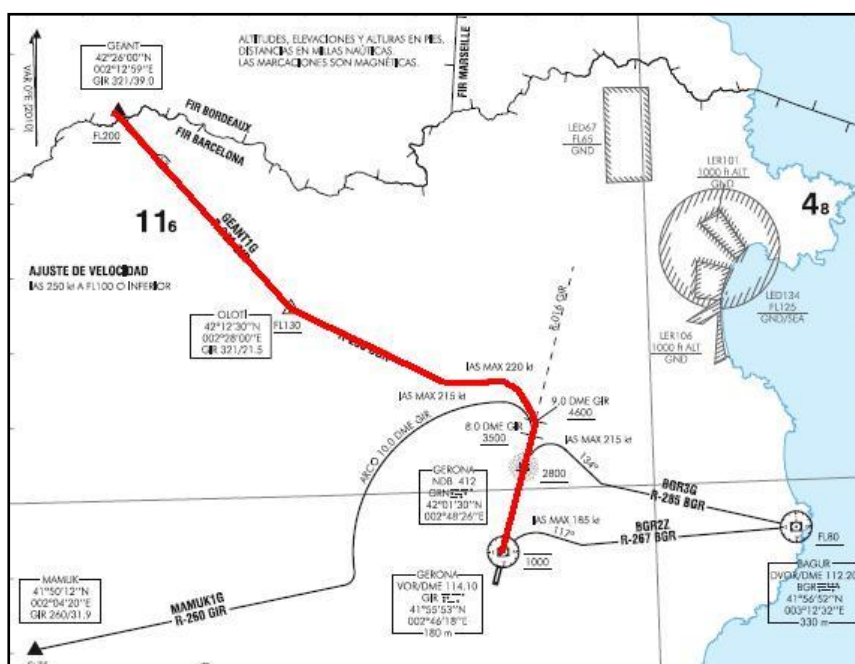


Fig. 8.8. VOR GIR - GEANT

- CREUER (França)

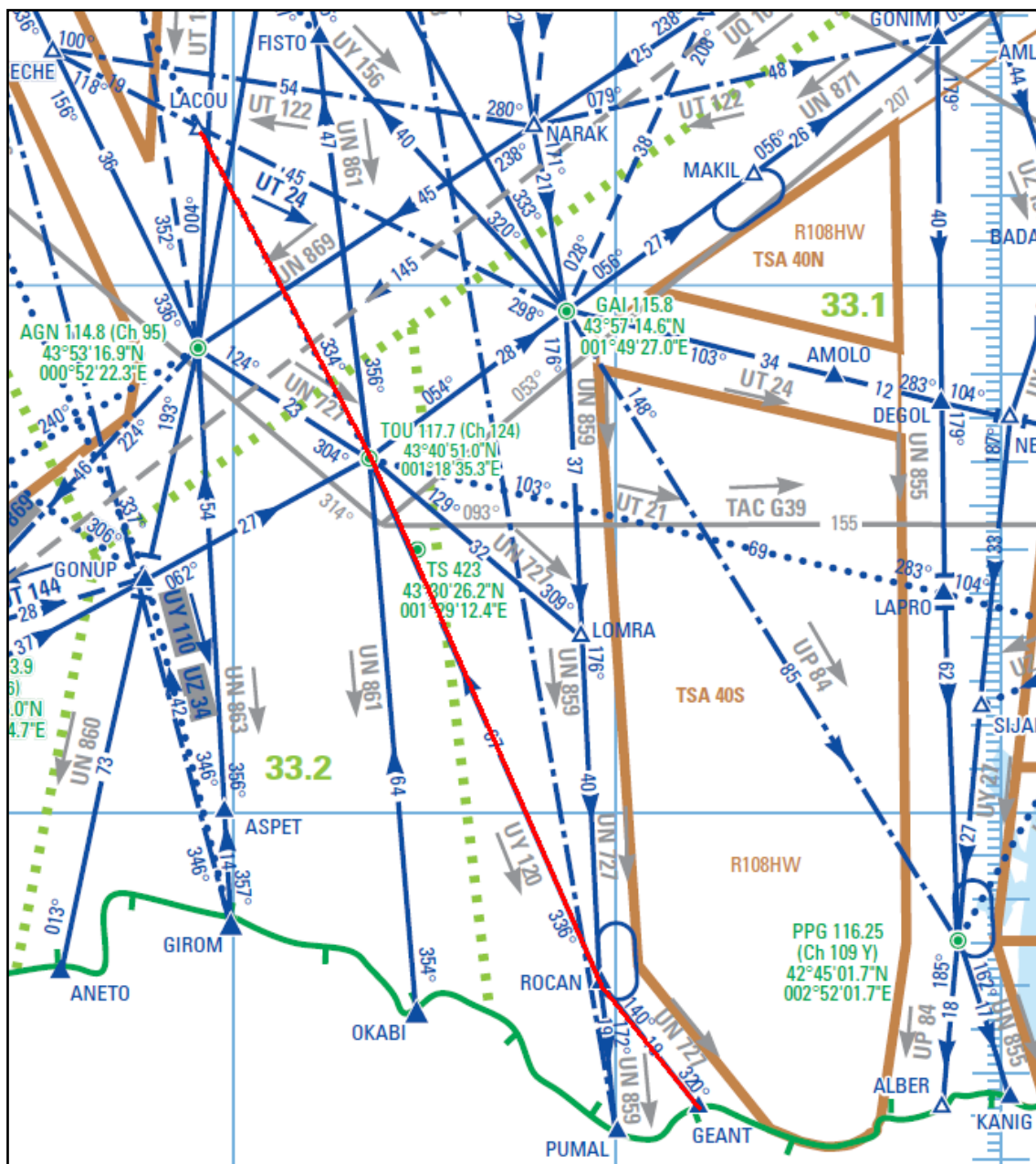


Fig. 8.9. GEANT - LACOU



Fig. 8.11. TUPAR - ANG

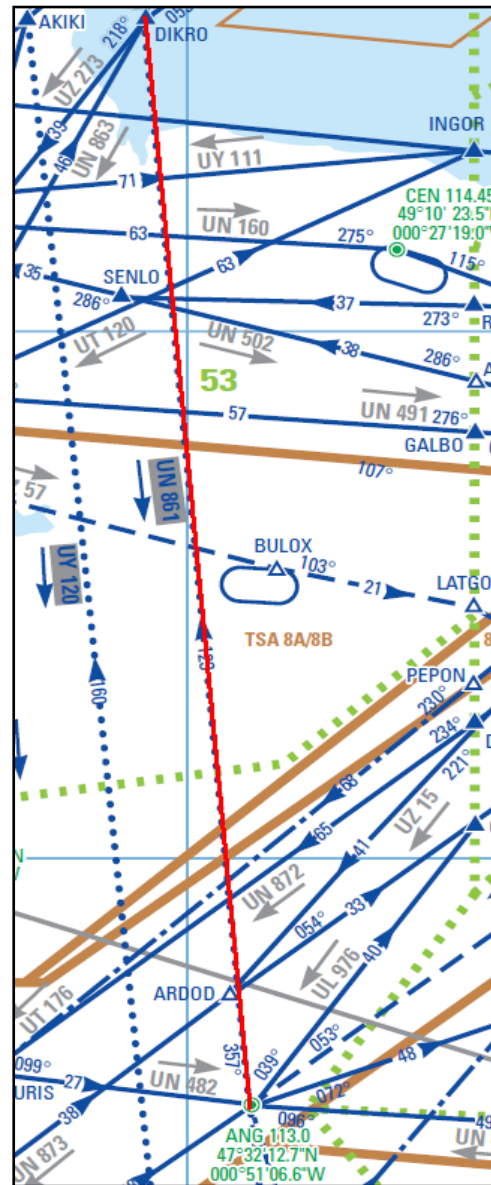


Fig. 8.12. ANG - DIKRO

- CREUER (Regne Unit)

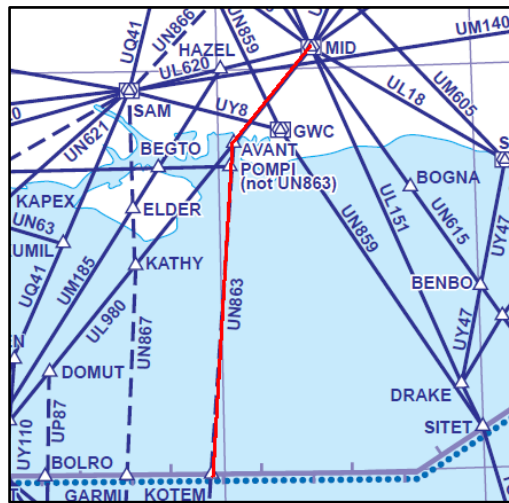


Fig. 8.13. KOTEM - MID

- STAR Stansted

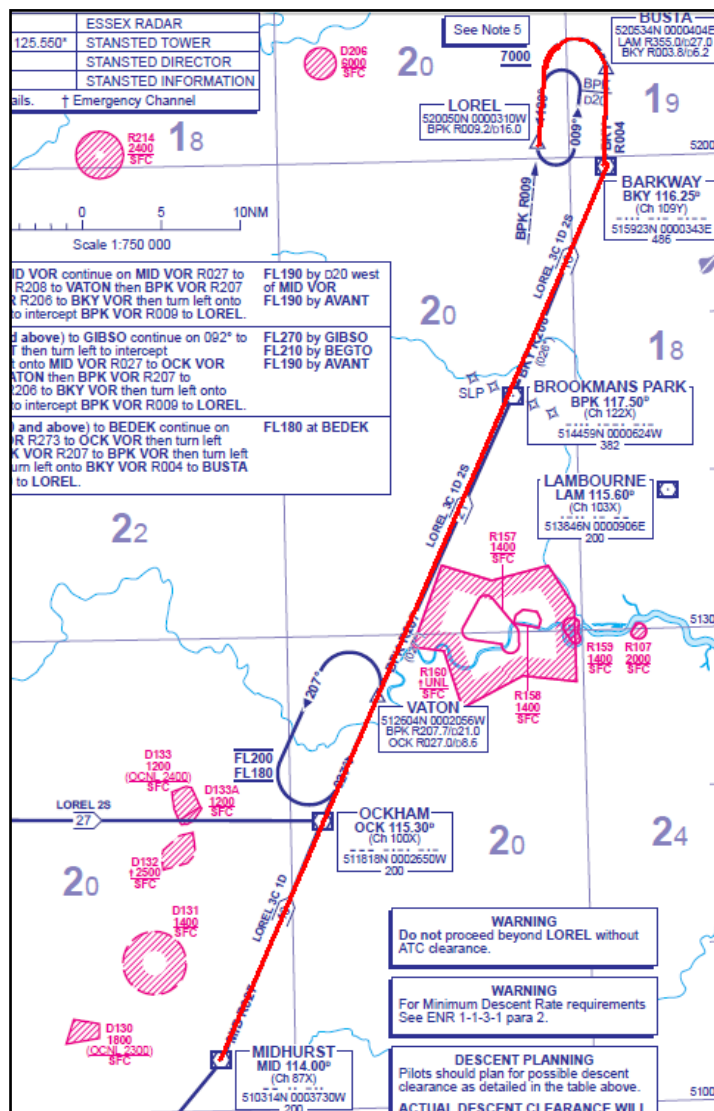


Fig. 8.14. MID - LOREL

B.4 Stansted – Heathrow (EGSS - EGLL) (alternatiu)

Taula 8.6. EGSS-EGLL

STANSTED-HEATHROW [EGSS-EGLL]		
SID	STANSTED	
creuer	BUZAD	35
	HEMEL	10
STAR	BIG	55
	DORKI	12
APP	HEATHROW	35
DIST TOTAL		147

- SID Stansted

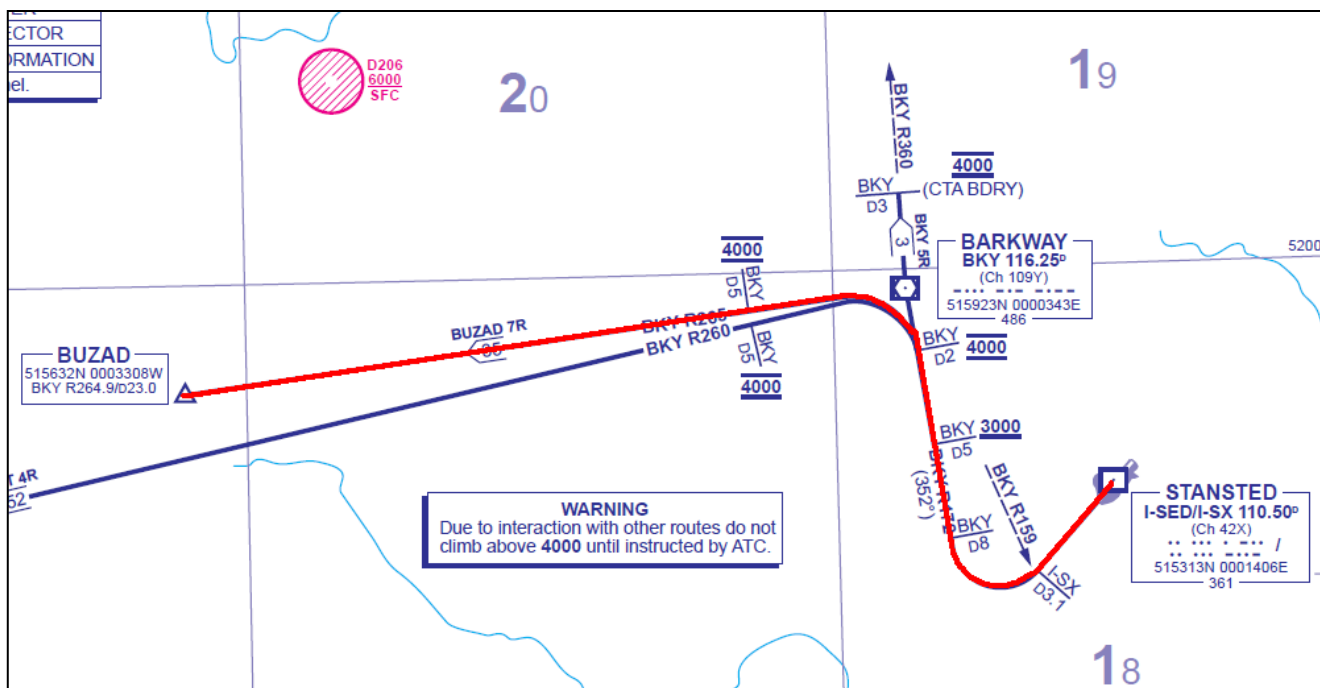


Fig. 8.15. STANSTED - BUZAD

B.5 Girona – Hahn (LEGE - EDFH)

Taula 8.7. LEGE – EDFH

GIRONA - HAHN [LEGE - EDFH]			
ESPANYA	SID	VOR GIRONA	
		VOR BEGUR	15
FRANÇA	creuer	DIBER	55
		SOSUR	39
		ROTIS	33
		ADITA	21
		MAXIR	14
		LUSOL	23
		BODRU	29
		OKTET	19
		IRMAR	21
		BLONA	13
		KINES	19
		VANAS	8
		MOBLO	21
		SUÏSSA	creuer
KORED	18		
KONOL	14		
BERSU	14		
SUREP	3		
DITON	16		
ALEMANYA	creuer	KUDES	25.1
		ROMIR	15
		VEDOK	5
		HEUSE	15.4
		LOKTA	7.3
		ESULI	27.4
		TANGO	18.1
		HAREM	60
		LOHRE	27.1
		BAMTO	17.9
		BOMBI	8.6
		NOKDI	16.9
		MISGI	20.7
ARKOK	10.7		
	STAR	DME HAHN	16
	APP	HAHN	35
DIST TOTAL			772

- SID Girona

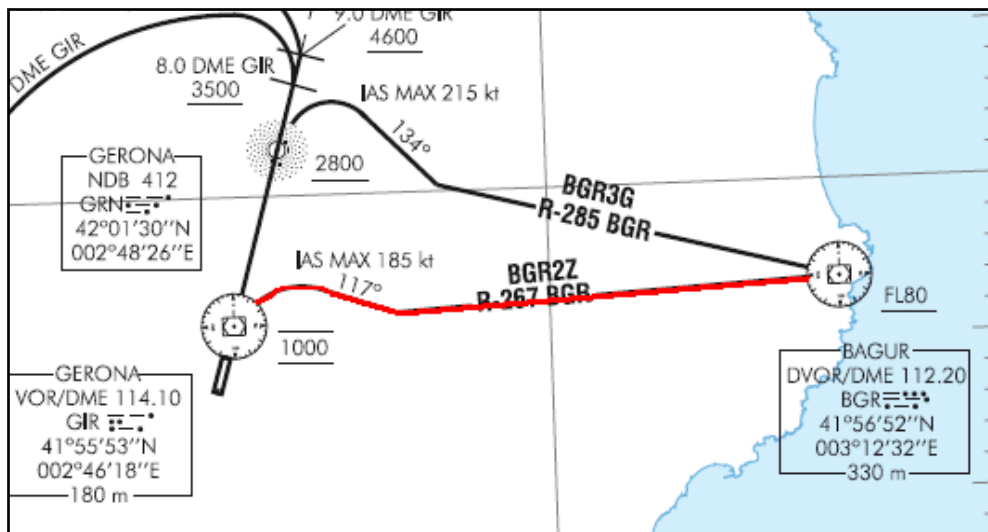


Fig. 8.18. VOR GIR - VOR BGR

- CREUER (Espanya)



Fig. 8.19. VOR BGR - DIBER

- CREUER (França)



Fig. 8.20. DIBER - MAXIR

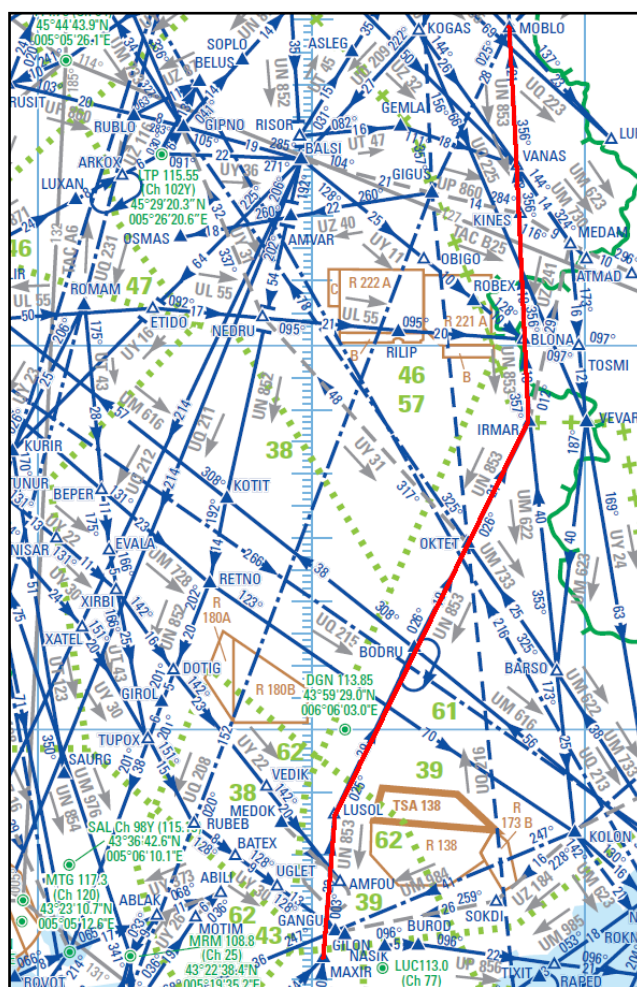


Fig. 8.21. MAXIR - MOBLO

- CREUER (Suïssa)

A causa de la no disponibilitat dels documents ENR6 de Suïssa, per a seguir els punts de les aerovies del creuer en aquest Estat hem utilitzat el document ENR 3.3.

AIP SWITZERLAND			
Route Designator (RNP Type) [Route Usage Notes]			
Significant Point Name (RNP Type)	Significant Point Coordinates		
	Track MAG	Dist (NM)	Upper limit / Lower limit
UZ662			
△ MOBLO	45 48 35 N 006 43 22 E		
	025/	51	FL 660 FL 195
△ LAMUR	46 34 47 N 007 13 53 E		
	025/	18	FL 660 FL 195
△ KORED	46 51 02 N 007 24 51 E		
CDR 1 according Note 1 CDR 2 according Note 2			

Fig. 8.23. MOBLO - KORED

ENR 3.3 - 124 AIRAC 21 OCT 2010			
Route Designator (RNP Type) [Route Usage Notes]			
Significant Point Name (RNP Type)	Significant Point Coordinates		
	Track MAG	Dist (NM)	Upper limit / Lower limit
Z138			
△ DITON	47 18 08 N 008 20 00 E		
	058/	25.1	FL 660 FL 135
△ KUDES	47 31 15 N 008 51 26 E		

Fig. 8.24. DITON - KUDES

Route Designator (RNP Type) [Route Usage Notes]			
Significant Point Name (RNP Type)	Significant Point Coordinates		
	Track MAG	Dist (NM)	Upper limit / Lower limit
UN871			
△ OMASI	45 54 22 N 005 58 27 E		
	041/	44	
△ MOLUS	46 26 38 N 006 40 46 E		
	052/	11	FL 660 FL 195
△ SOSAL	46 33 29 N 006 53 04 E		
	052/	21	FL 660 FL 195
△ TELNO	46 46 19 N 007 16 15 E		
	052/	7	FL 660 FL 195
△ KORED	46 51 02 N 007 24 51 E		
	052/	14	FL 660 FL 195
△ KONOL	46 59 43 N 007 40 51 E		
	052/	14	FL 660 FL 195
△ BERSU	47 08 08 N 007 56 29 E		
	058/	3	FL 660 FL 195
△ SUREP	47 09 55 N 008 00 39 E		
	058/	16	FL 660 FL 195
△ DITON	47 18 08 N 008 20 00 E		

Fig. 8.22. KORED - DITON

- CREUER (Alemanya)



Fig. 8.25. KUDES - TANGO

A partir d'aquí es passa a l'espai aeri inferior.

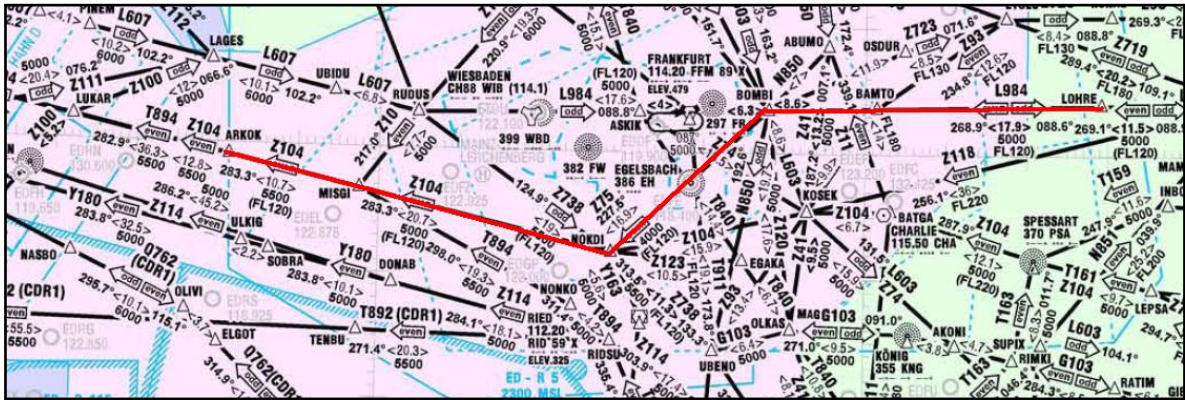


Fig. 8.27. LOHRE - ARKOK

- STAR Hahn

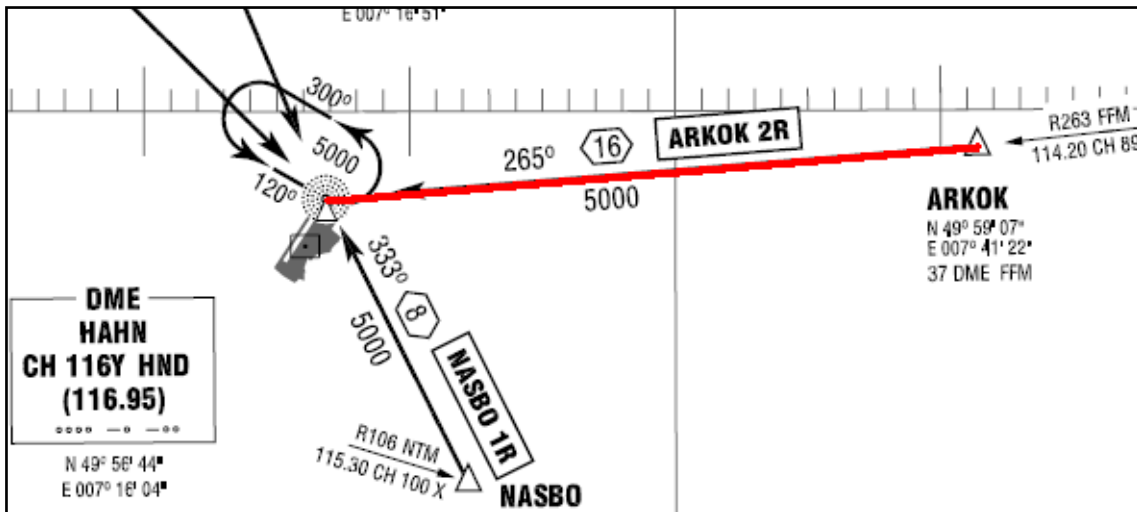


Fig. 8.28. ARKOK - HAHN

B.6 Hahn – Dortmund (EDFH - EDLW) (alternatiu)

Taula 8.8. EDFH – EDLW

HAHN-DORTMUND [EDFH - EDLW]		
SID	HAHN	
	NORUENICH	33
creuer	NOSTU	11
	BAMSU	21
	PADBA	16
	REDSU	6
	BARAG	2
STAR	ADEMI	5
	WICKEDE	10
APP	WICKEDE	35
DIST TOTAL		139

- SID Hahn

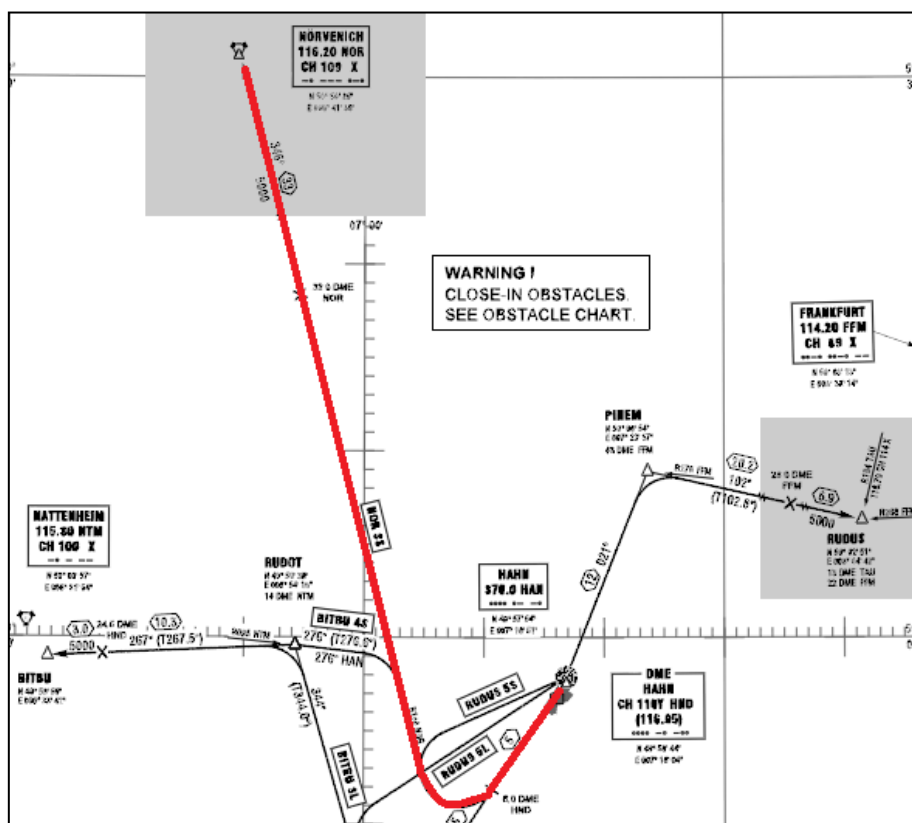


Fig. 8.29. HAHN - NORUENICH

- CREUER (Alemanya)

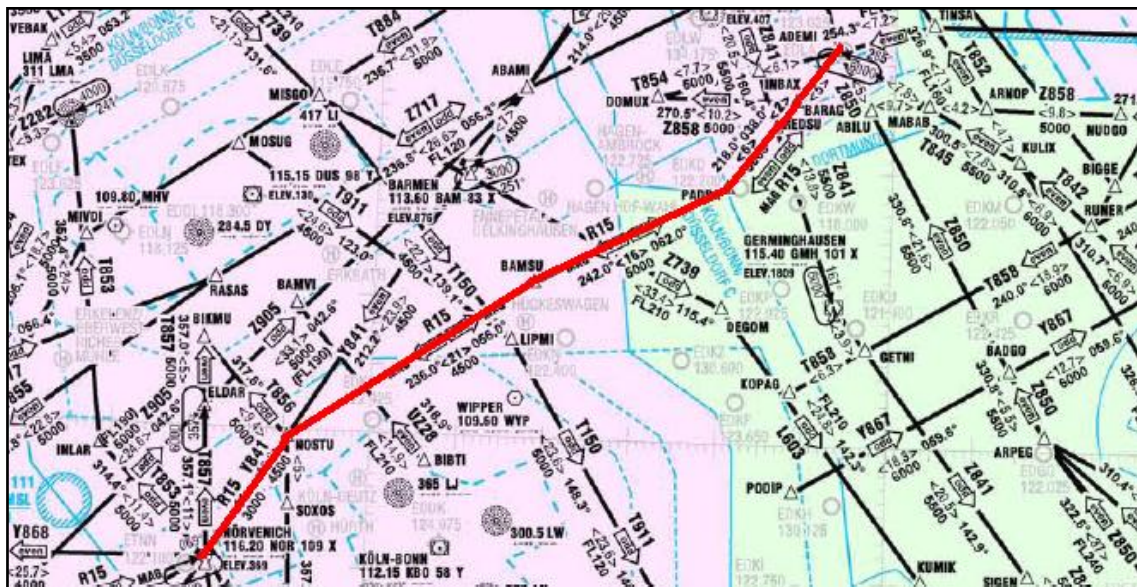


Fig. 8.30. NORUENICH - ADEMI

- STAR Dortmund

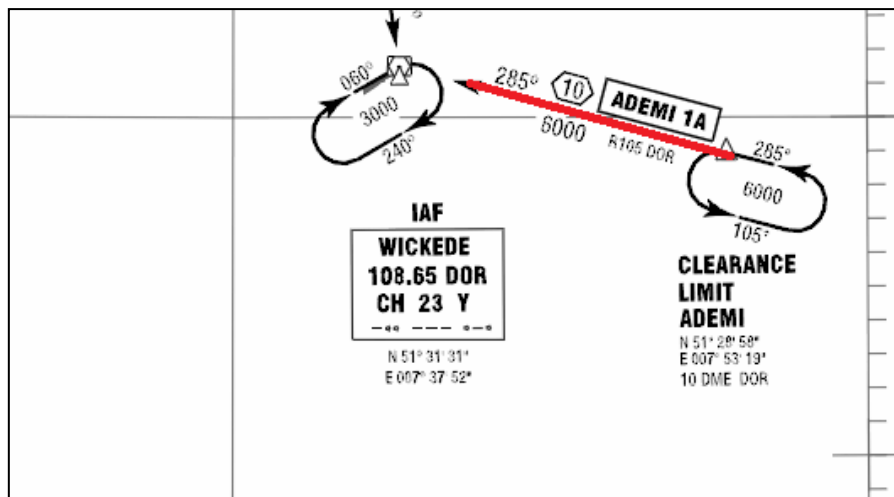


Fig. 8.31. ADEMI - WICKEDE

B.7. Girona – Ciampino (LEGE - LIRA)

Taula 8.9. LEGE – LIRA

GIRONA-CIMAPINO [LEGE - LIRA]			
ESPANYA	SID	VOR GIRONA	
		VOR BEGUR	15
	creuer	DALIN	15
		AGENA	13
		VERSO	26
		LAPID	36
		OSPOK	10
		INKIR	69
		ORKUM	61
		ELSAG	24
ALG		11.2	
MINKA		30.2	
POZZO		20.2	
ROMPO		24.7	
RUXOP		11.6	
BATOX		7.2	
TINTO		44.2	
VALMA		17	
STAR		LUNAK	21.6
		OSTIA	17.6
	ROMA	15.7	
APP	CIAMPINO	35	
DIST TOTAL			525

- SID Girona

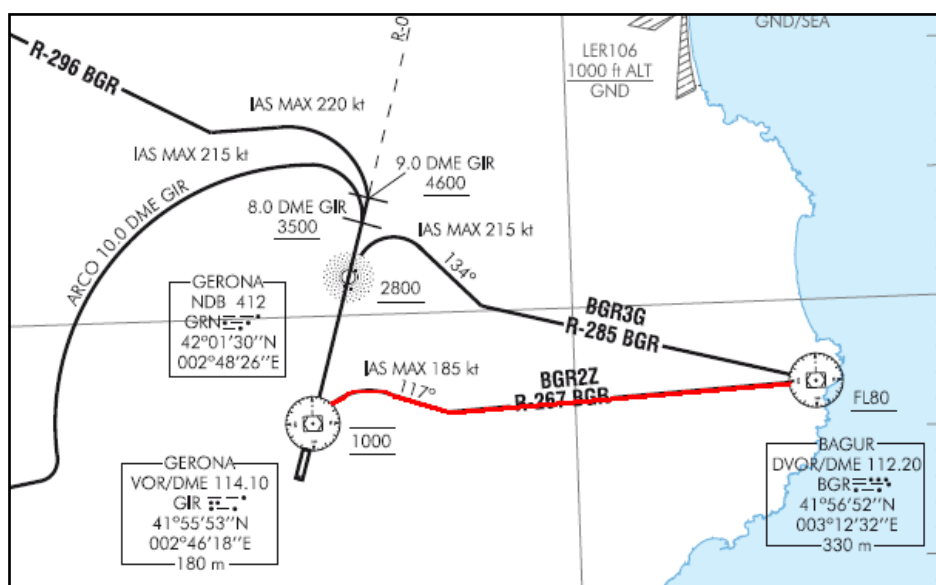


Fig. 8.32. VOR GIR - VOR BGR

- CREUER (Espanya)

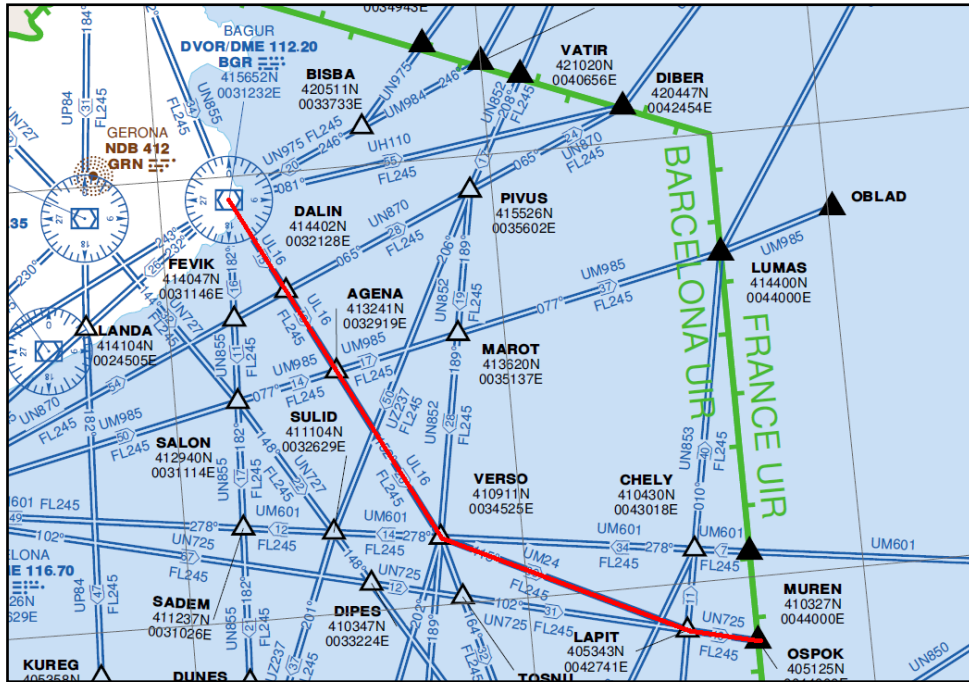


Fig. 8.33. VOR BGR - OSPOK

- CREUER (França)

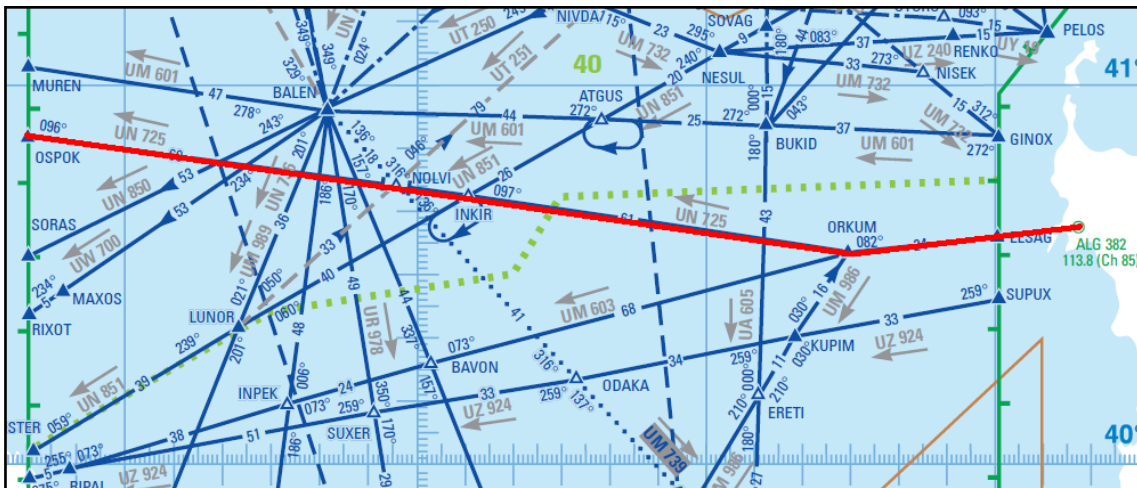


Fig. 8.34. OSPOK - ELSAG

- CREUER (Itàlia)

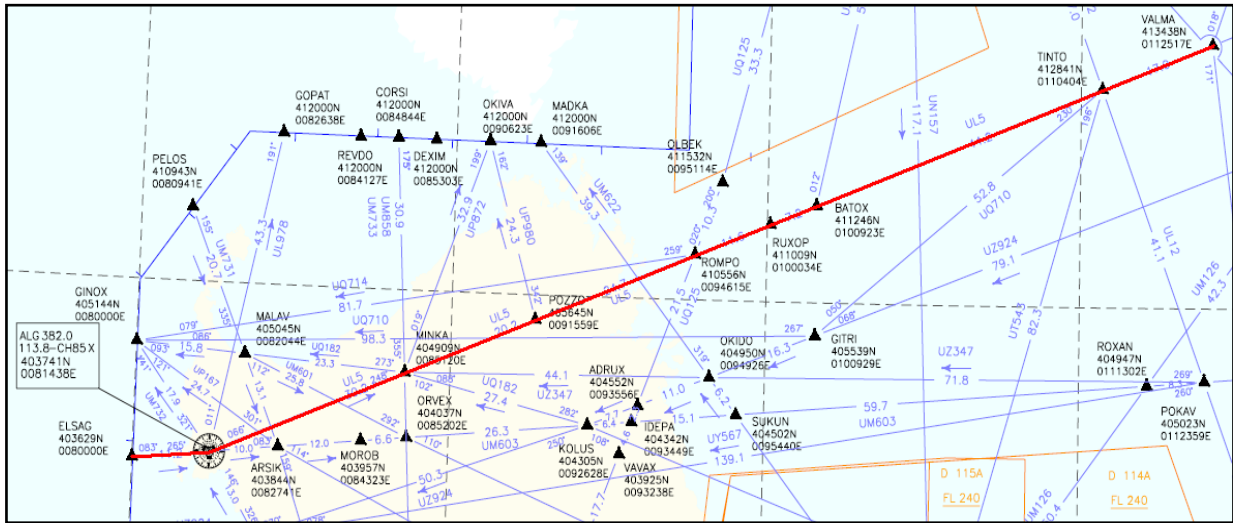


Fig. 8.35. ELSAG - VALMA

- STAR Ciampino

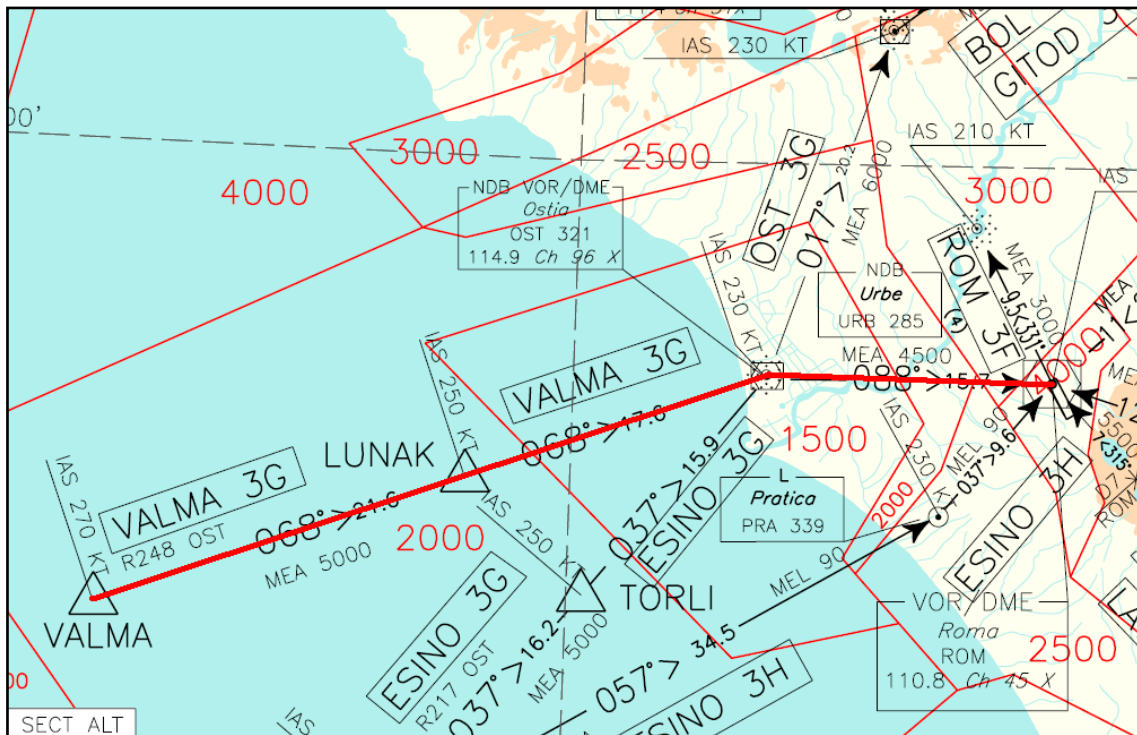


Fig. 8.36. VALMA - ROMA

B.8 Ciampino – Ampugnano (LIRA - LIQS) (alternatiu)

Taula 8.10. LIRA - LIQS

CIAMPINO-AMPUGNANO [LIRA-LIQS]		
SID	VOR ROMA	
	PRACTICA	7
	PEMAR	37
creuer	TIBER	19.4
	BOL	33
STAR	AMTEL	41
	VOR SIENA	12
APP	VOR SIENA	35
DIST TOTAL		184

- SID Ciampino:

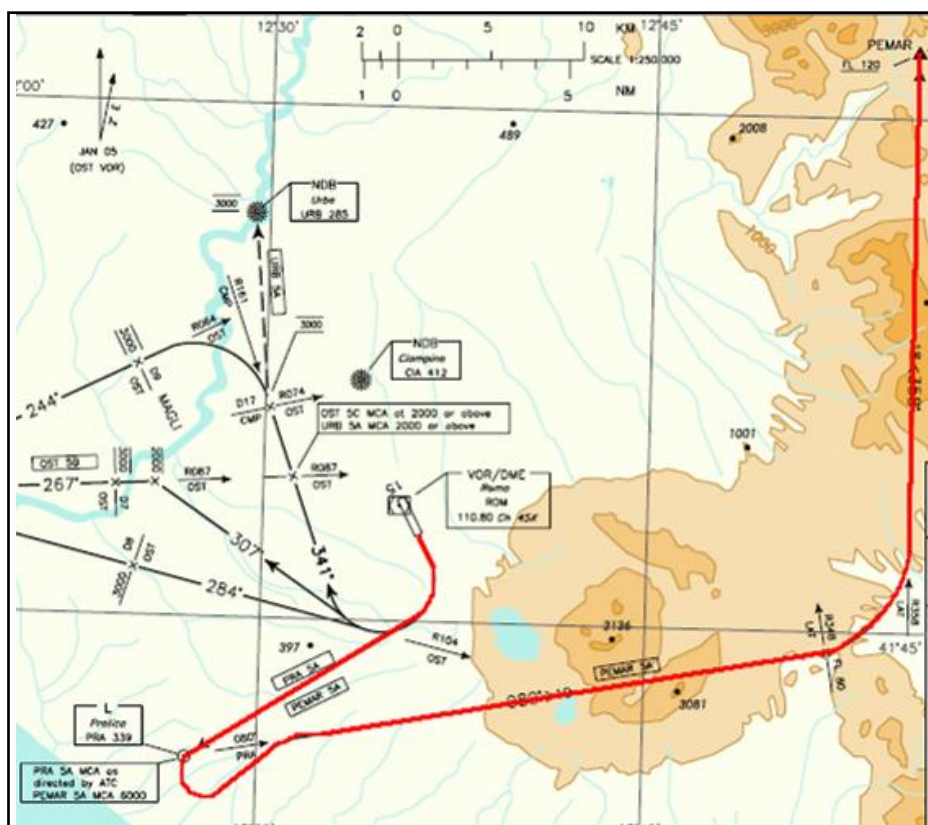


Fig. 8.37. VOR ROM - PEAR

- CREUER (Itàlia)

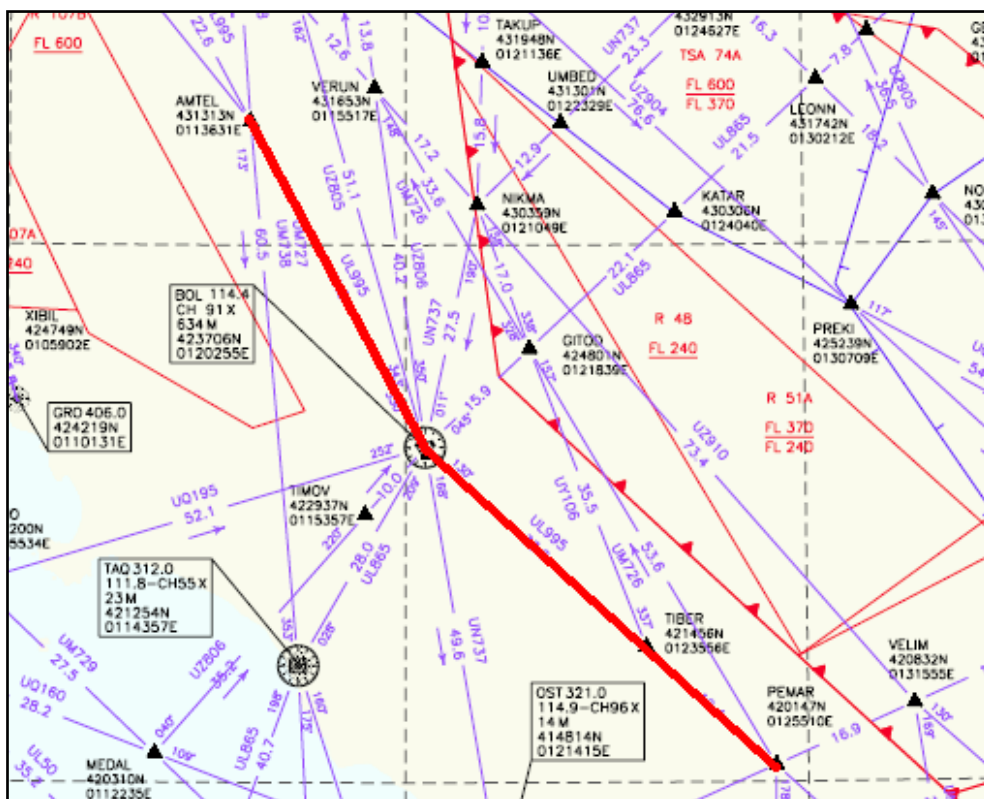


Fig. 8.38. PEMAR - AMTEL

- STAR Ampugnano

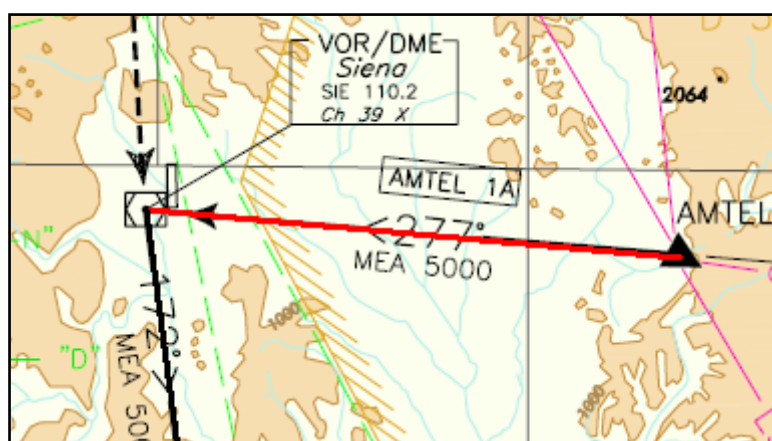


Fig. 8.39. AMTEL - VOR SIE

B.9 Girona – Vantaa (LEGE - EFHK)

Taula 8.11. LEGE-EFHK

GIRONA-VANTAA [LEGE-EFHK]			
ESPANYA	SID	VOR GIRONA	
		VOR BEGUR	15
FRANÇA	creuer	DIBER	55
		SOSUR	39
		ROTIS	33
		ADITA	21
		MAXIR	14
		LUSOL	23
		BODRU	29
		OKTET	19
		IRMAR	21
		BLONA	13
		KINES	19
		VANAS	8
		MOBLO	21
SUÏSSA		LAMUR	51
		KORED	18
		KONOL	14
		BERSU	14
		SUREP	3
		DITON	16
		KUDES	25.1
ALEMANYA		ROMIR	15
		VEDOK	5
		HEUSE	15.4
		LOKTA	7.3
		ESULI	27.4
		TANGO	18.1
		HAREM	60
		LOHRE	27.1
		TIKNI	25.4
		ROBEL	36.3
		ESOBU	21.1
		KENIG	32.4
	MAGDEBURG	30	
	SOBLU	29.7	
	RIMKO	23.1	
GUDOP	27.3		
PADKU	43.7		
POLÒNIA	BINKA	15.5	
	DEMUR	32.3	
	BABEN	20.3	

SUÈCIA		GORPI	34.9
		KOLJA	76.2
		TESPO	24.6
		ALAMI	201.6
		RAMIM	85.3
		PEXEN	17.8
FINLÀNDIA	STAR	KUDOP	8.6
		HK803	12
		HK801	7.5
		PODOM	3
	APP	VANTAA	35
DIST TOTAL			1490

- SID Girona

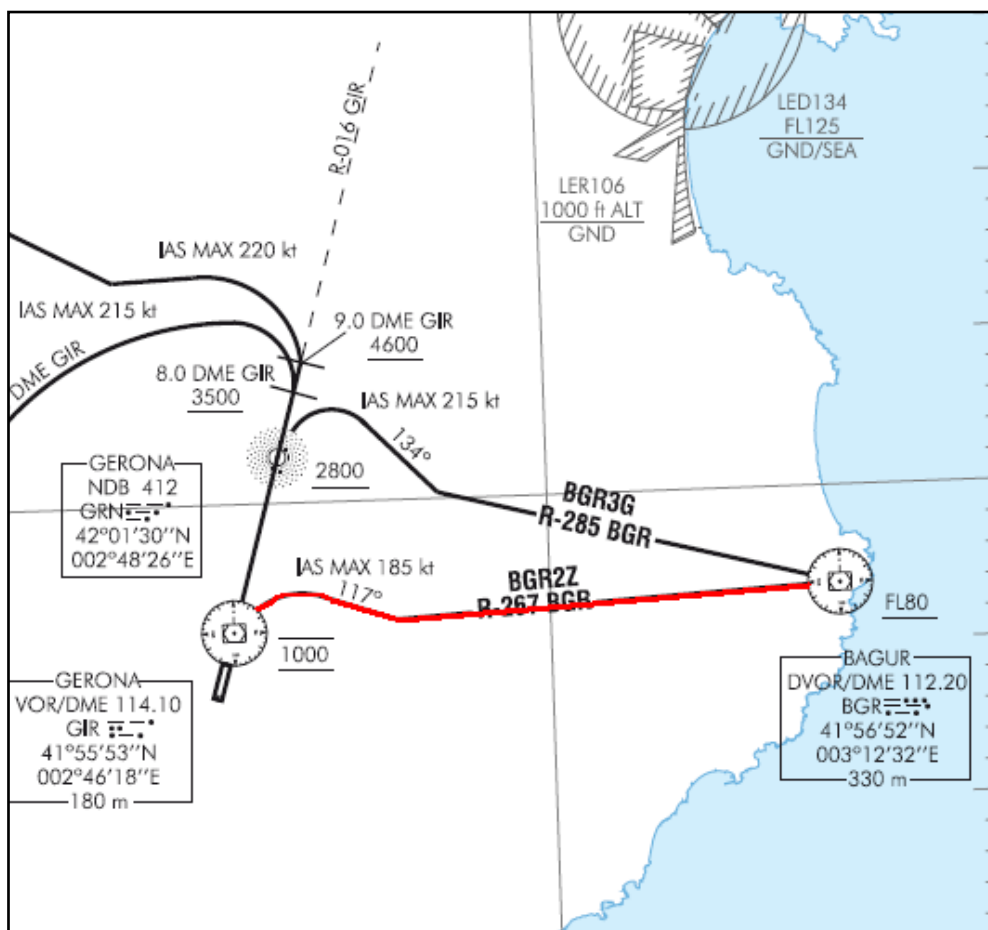


Fig. 8.40. VOR GIR - VOR BGR

- CREUER (Espanya)

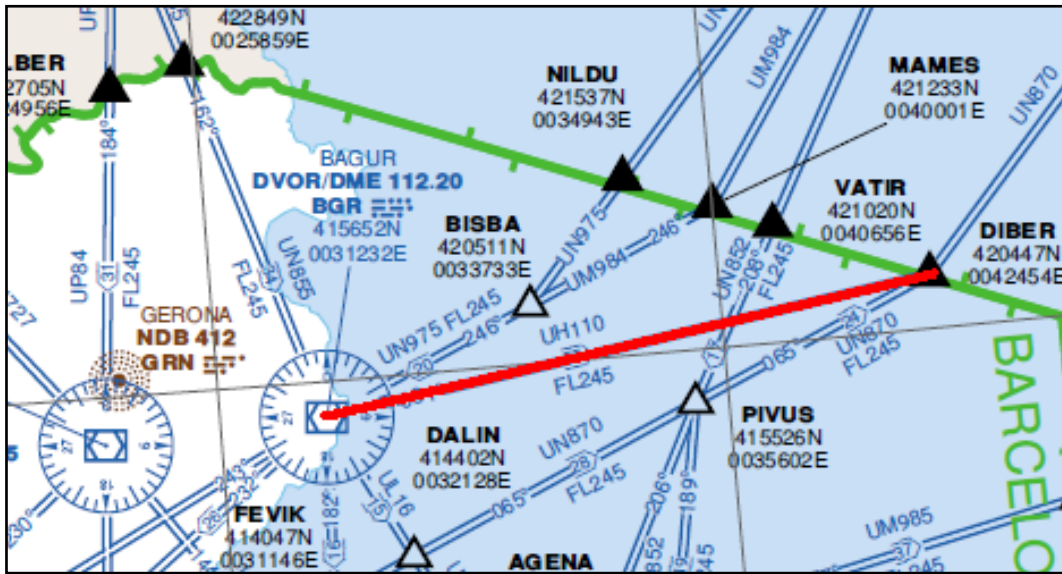


Fig. 8.41. VOR BGR - DIBER

- CREUER (França)



Fig. 8.42. DIBER - MAXIR

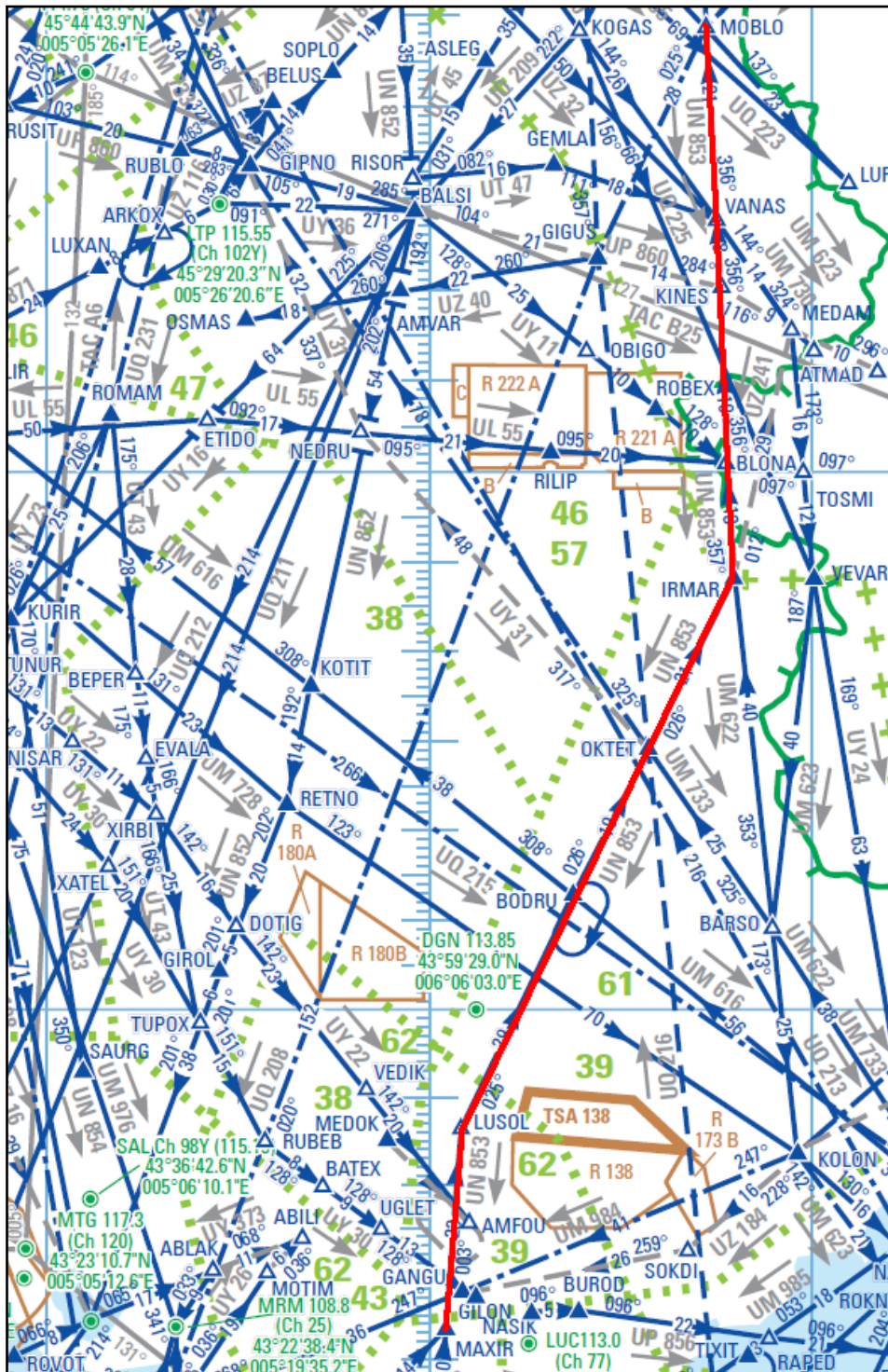


Fig. 8.43. MAXIR - MOBLO

- CREUER (Suïssa)

A causa de la no disponibilitat dels documents ENR6 de Suïssa, per a seguir els punts de les aerovies del creuer en aquest Estat hem utilitzat el document ENR 3.3.

AIP SWITZERLAND			
Route Designator [Route Usage Notes] (RNP Type)			
Significant Point Name (RNP Type)	Significant Point Coordinates		
	Track MAG	Dist (NM)	Upper limit / Lower limit
UZ662			
△ MOBLO	45 48 35 N 006 43 22 E		
	025/	51	FL 660 FL 195
△ LAMUR	46 34 47 N 007 13 53 E		
	025/	18	FL 660 FL 195
△ KORED	46 51 02 N 007 24 51 E		
CDR 1 according Note 1 CDR 2 according Note 2			

Fig. 8.45. MOBLO - KORED

ENR 3.3 - 124 AIRAC 21 OCT 2010			
Route Designator [Route Usage Notes] (RNP Type)			
Significant Point Name (RNP Type)	Significant Point Coordinates		
	Track MAG	Dist (NM)	Upper limit / Lower limit
Z138			
△ DITON	47 18 08 N 008 20 00 E		
	058/	25.1	FL 660 FL 135
△ KUDES	47 31 15 N 008 51 26 E		

Fig. 8.46. DITON - KUDES

Route Designator [Route Usage Notes] (RNP Type)			
Significant Point Name (RNP Type)	Significant Point Coordinates		
	Track MAG	Dist (NM)	Upper limit / Lower limit
UN871			
△ OMASI	45 54 22 N 005 58 27 E		
	041/	44	
△ MOLUS	46 26 38 N 006 40 46 E		
	052/	11	FL 660 FL 195
△ SOSAL	46 33 29 N 006 53 04 E		
	052/	21	FL 660 FL 195
△ TELNO	46 46 19 N 007 16 15 E		
	052/	7	FL 660 FL 195
△ KORED	46 51 02 N 007 24 51 E		
	052/	14	FL 660 FL 195
△ KONOL	46 59 43 N 007 40 51 E		
	052/	14	FL 660 FL 195
△ BERSU	47 08 08 N 007 56 29 E		
	058/	3	FL 660 FL 195
△ SUREP	47 09 55 N 008 00 39 E		
	058/	16	FL 660 FL 195
△ DITON	47 18 08 N 008 20 00 E		

Fig. 8.44. KORED - DITON



Fig. 8.48. TANGO - LOHRE

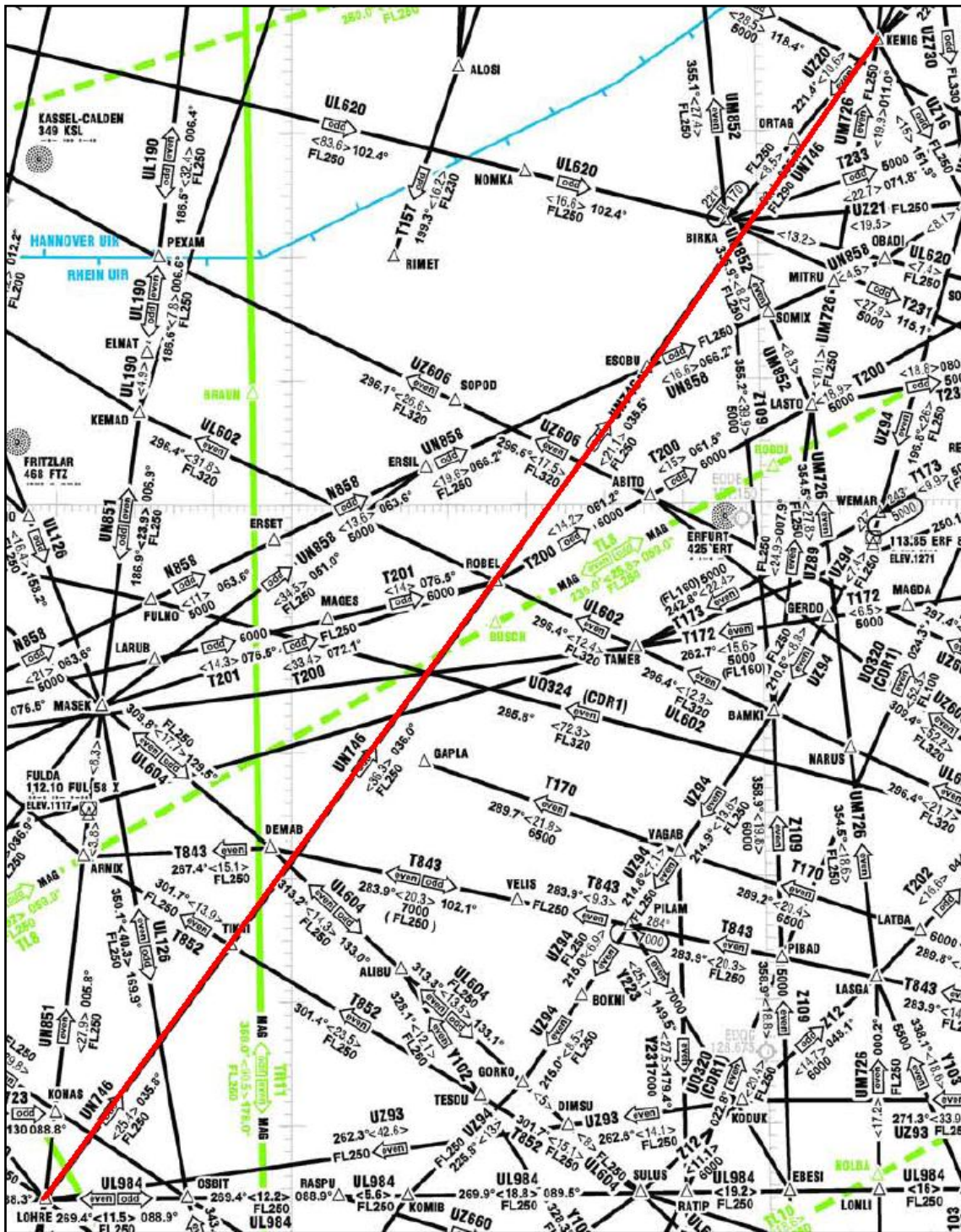


Fig. 8.49. LOHRE - KENIG

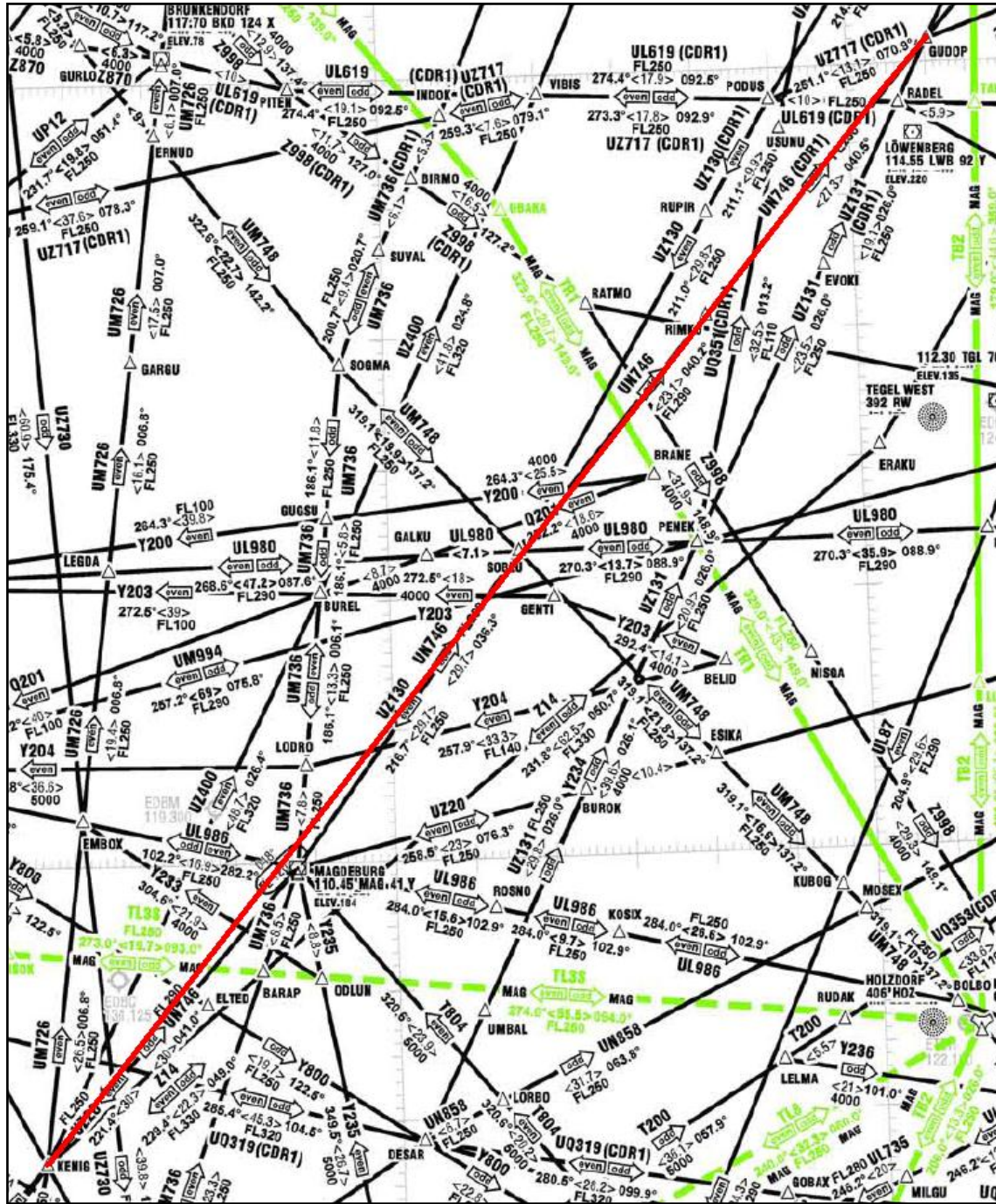


Fig. 8.50. KENIG - GUDOP

- CREUER (Suècia)

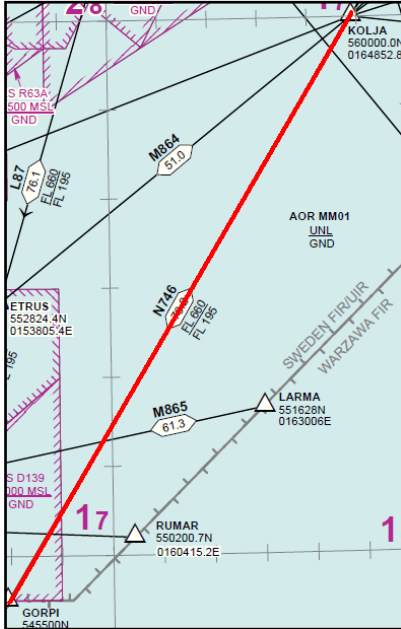


Fig. 8.54. GORPI - KOLJA

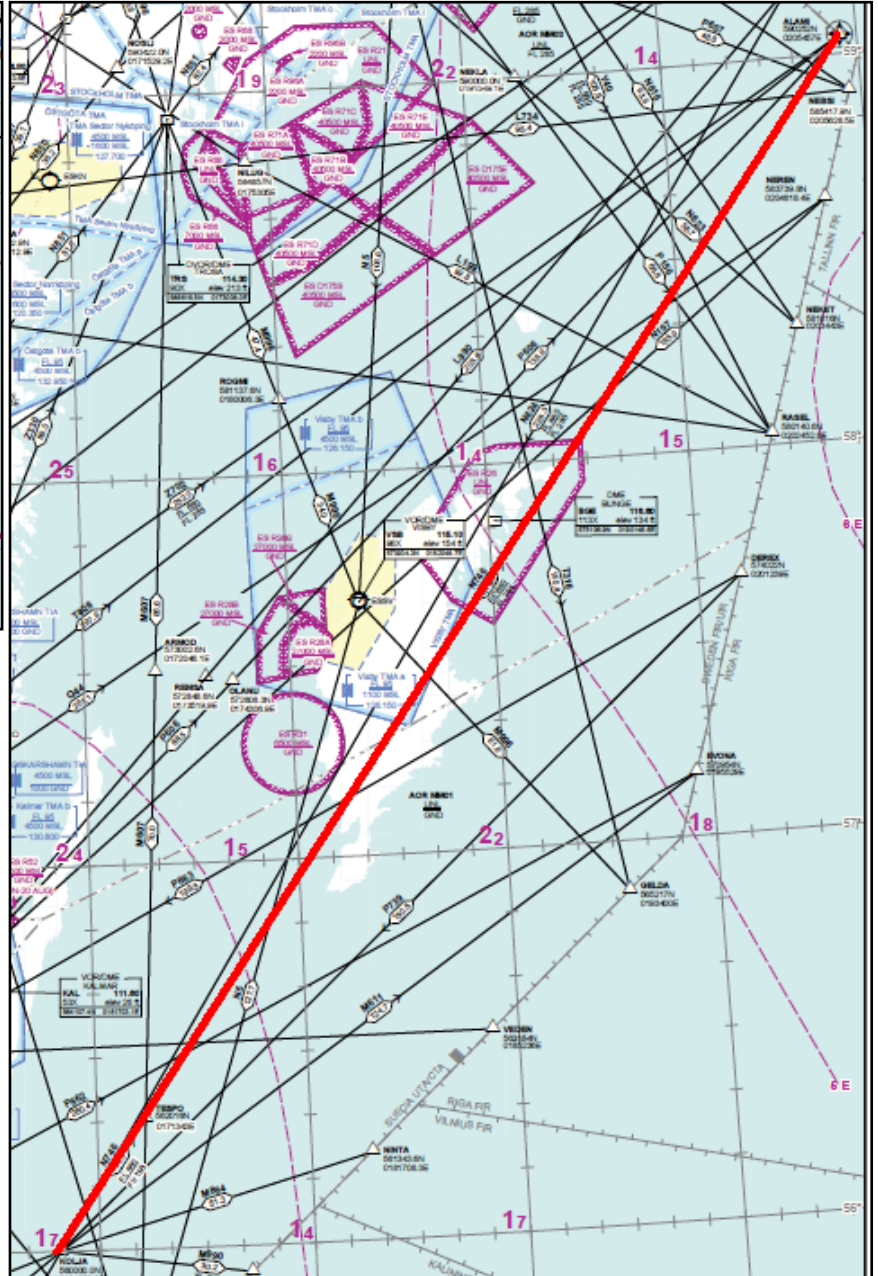


Fig. 8.53. KOLJA - ALAMI

- CREUER (Finlàndia)

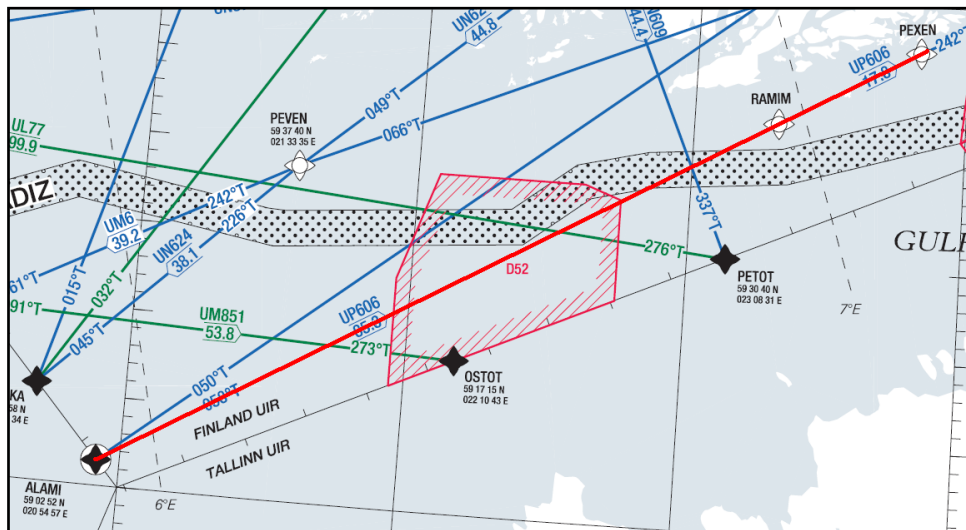


Fig. 8.55. ALAMI - PEXEN

- STAR Vantaa:

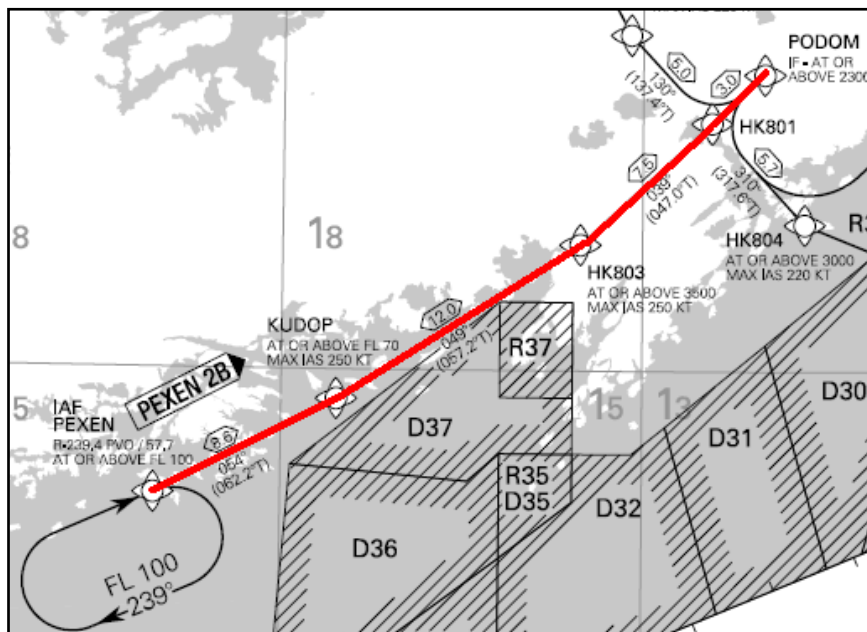


Fig. 8.56. PEXEN - PODOM

B.10 Vantaa – Tampere (EFHK - EFTP) (alternatiu)

Taula 8.12. EFHK - EFTP

VANTAA-TAMPERE [EFHK - EFTP]		
SID	VANTAA	
	ODEXA	2
creuer	PIVAK	20
	PEMOS	13
	VELUN	14.1
STAR	LORVI	19.8
	TESVA	5
APP	TAMPERE	35
DIST TOTAL		109

- SID i CREUER Vantaa

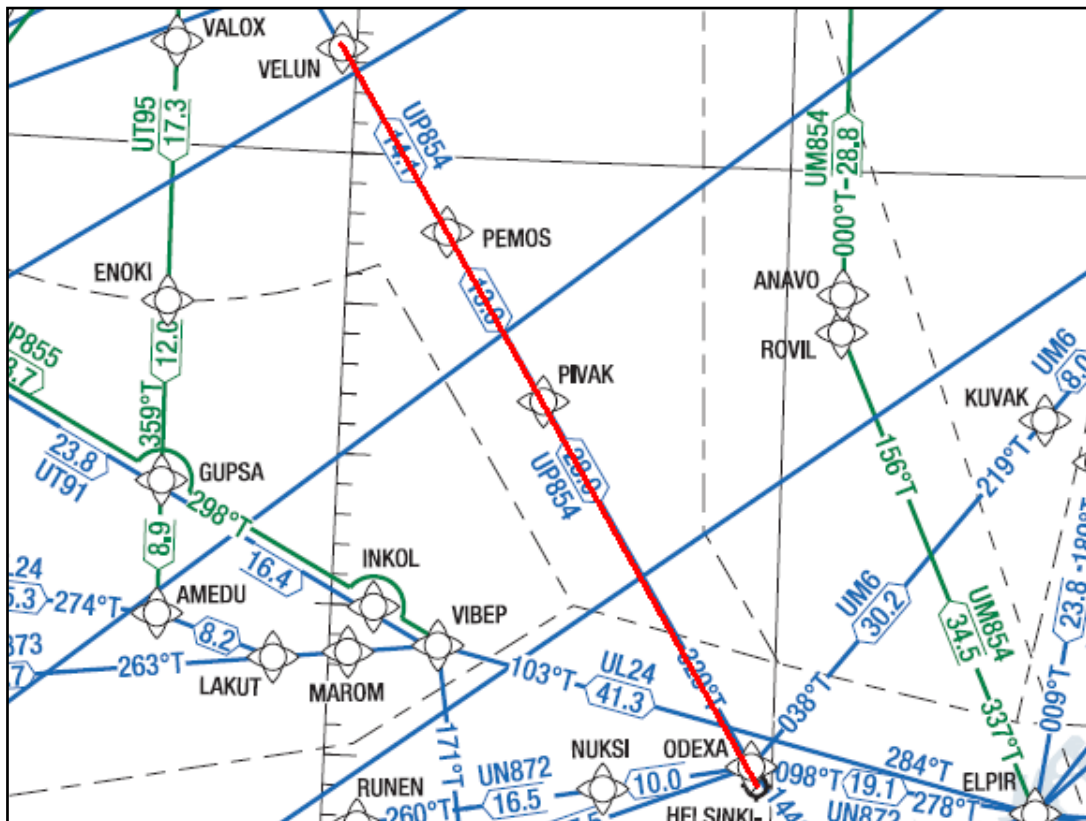
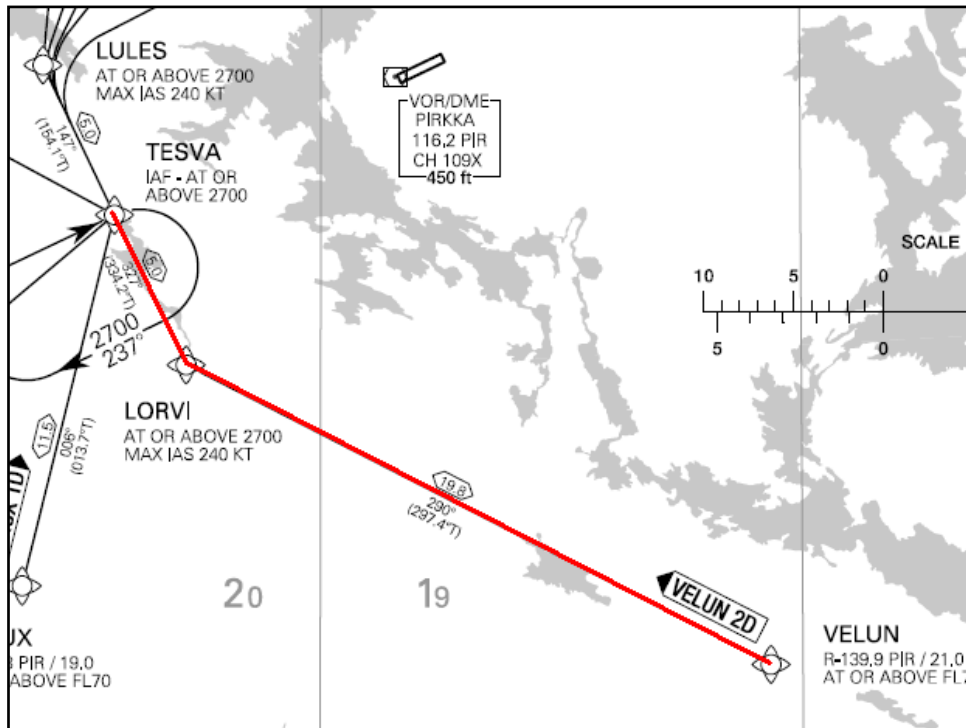


Fig. 8.57- VANTAA - VELUN

- STAR Tampere



- Fig. 8.58. VELUN - TESVA

B.11 Bibliografia

- [1] Eurocontrol: <http://www.ead.eurocontrol.int/>
Darrera visita: Febrer 2011

- [2] Aena: *Publicació d'Informació Aeronàutica (AIP)*
<http://www.aena.es/csee/Satellite/navegacion-aerea/es/Page/1078418725163/?other=1083158950596#ancla3>
Darrera visita: Març 2011