

PROJECTE FI DE GRAU

Optimització del temps total d'escala d'aeronaus comercials

Memòria del Projecte Fi de Grau
Gestió Aeronàutica
realitzat per **Iris Silverio Pons**
i dirigit per Dr. Angel A. Juan
Sabadell, 11 de juliol de 2012



El sotasignat,

Professor/a de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de la UAB,

CERTIFICA:

Que el treball a què correspon aquesta memòria ha estat realitzat sota la seva direcció per en

I per tal que consti firma la present.

Signat:

Bellaterra,de.....de 200.....

Resum

L'objectiu d'aquest projecte és analitzar com optimitzar el temps total d'escala d'una aeronau comercial, per tal de reduir els costos que suposa que l'aeronau estigui en terra.

L'anàlisi es realitza a partir de conèixer quines són les operacions mínimes necessàries que cal dur a terme durant el turnaround i en quin ordre convé realitzar-les perquè el temps total sigui mínim. També s'estudien quins són els mètodes científics ja proposats i quins són els usats en l'actualitat. Fruit de l'estudi es proposa un model que permeti reduir els costos derivats de retards, afegint un temps addicional a l'escala, a partir de dades recollides de l'activitat comercial diària a l'aeroport de Barcelona.

Dels resultats obtinguts es conclou que interessa afegir un buffer que absorbeixi possibles incidents, però convé que sigui dividit segons la franja horària del dia, per tal que s'adapti al màxim a les necessitats de cada vol, enlloc d'afegir un mateix buffer a tots els vols de qualsevol hora.

Paraules clau

Aircraft turn-around, buffer time, ground handling, makespan, optimization, scheduling.

ÍNDEX

RESUM	3
<i>Paraules clau</i>	3
INTRODUCCIÓ	6
1.1. INTERÈS I MOTIVACIÓ	6
1.2. OBJECTIUS	7
1.2.1. <i>Objectiu general</i>	7
1.2.2. <i>Objectius bàsics</i>	7
1.2.3. <i>Objectius complementaris</i>	7
1.3. METODOLOGIA I ORGANITZACIÓ DEL PROJECTE	7
CONCEPTES BÀSICS	9
2.1. CONCEPTE DE TEMPS D'ESCALA	9
2.2. OPERACIONS	9
2.2.1. <i>Equips d'assistència als passatgers</i>	9
2.2.2. <i>Equips d'assistència a l'aeronau</i>	11
2.2.3. <i>Equips d'assistència a la càrrega</i>	15
REVISIÓ DE LITERATURA CIENTÍFICA	17
PROBLEMA 1: PLANIFICACIÓ DE LES OPERACIONS DEL TURNAROUND	17
PROBLEMA 2: AFEGIR UN BUFFER DE TEMPS A L'ESCALA	19
PRÀCTIQUES ACTUALS	23
DESCRIPCIÓ FORMAL DEL PROBLEMA	31
MODEL DE RESOLUCIÓ	36
EXPERIMENTS NUMÈRICS I RESULTATS	40
CONCLUSIONS	44
INVESTIGACIONS I TENDÈNCIES FUTURES	44
REFERÈNCIES	45
BIBLIOGRAFIA.....	46
PÀGINES WEB.....	47
ANNEXES	48

LLISTA D'IL·LUSTRACIONS

IL·LUSTRACIÓ 1: ESCALES AUTOPROPULSADES.	10
IL·LUSTRACIÓ 2: AUTOBÚS O JARDINERA DE PASSATGERS (COBUS 3000).....	10
IL·LUSTRACIÓ 3: PASSARELLA DE CONNEXIÓ AMB LA TERMINAL.	11
IL·LUSTRACIÓ 4: FALQUES COL·LOCADES AL TREN D'ATERRATGE.	11
IL·LUSTRACIÓ 5: GRUP ELÈCTRIC (GPU).	12
IL·LUSTRACIÓ 6: GRUP PNEUMÀTIC (ASU).	12
IL·LUSTRACIÓ 7: GRUP D'AIRE CONDICIONAT (ACU).	13
IL·LUSTRACIÓ 8: REMOLCADOR TOWBAR-LESS.	13
IL·LUSTRACIÓ 9: EQUIP DE DESGEL.....	14
IL·LUSTRACIÓ 10: EQUIP DE TRANSFERÈNCIA DE COMBUSTIBLE DES DE LA PLATAFORMA.	15
IL·LUSTRACIÓ 11: TRACTOR I DOS CARROS TRANSPORTADORS D'EQUIPATGES.....	15
IL·LUSTRACIÓ 12: CINTA TRANSFERIDORA D'EQUIPATGES.	16
IL·LUSTRACIÓ 13: PLATAFORMA ELEVADORA I TRANSFERIDORA.....	16

LLISTA DE FIGURES

FIGURA 1: DIAGRAMA PERT CORRESPONENT A UN TURNAROUND (WU, 2010)	18
FIGURA 2: PARÀMETRES DE DISTRIBUCIÓ ESTADÍSTICA PER A LA DURACIÓ DE LES OPERACIONS (FRICKE, 2009).	20
FIGURA 3: TEMPS D'INICI DE LES OPERACIONS SEGONS EL RETARD EN L'ARRIBADA DE L'AERONAU (FRICKE, 2009).	20
FIGURA 4: TEMPS D'ESCALA I BUFFER RECOMANAT SEGONS EL RETARD EN L'ARRIBADA (FRICKE, 2009).	20
FIGURA 5: POSSIBLE ESCENARIS DEL TURNAROUND D'UNA AERONAU.	21
FIGURA 6: QUADRE DE SERVEIS PROPOSAT PER AIRBUS PER A UN A320.	23
FIGURA 7: ESCALA COMERCIAL COMPLETA PROPOSAT PER AIRBUS PER UN A320 (AIRBUS S.A.S., 2005).	24
FIGURA 8: ESCALA COMERCIAL MÍNIMA PROPOSADA PER AIRBUS PER UN A320 (AIRBUS S.A.S., 2005).	25
FIGURA 9: ESCALA COMERCIAL PROPOSADA PER BOEING PER A UN 737-800 (BOEING, 2005).....	26
FIGURA 10: ESCALA COMERCIAL PROPOSADA PER BOEING PER A UN 737-900 (BOEING, 2005).....	27
FIGURA 11: EXEMPLE DE PLANIFICACIÓ DE L'ESCALA D'UN VOL DE CURTA DISTÀNCIA.	28
FIGURA 12: EXEMPLE DE PLANIFICACIÓ DE L'ESCALA AMB PRE-ALERTA D'UN VOL DE CURTA DISTÀNCIA.	29
FIGURA 13: EXEMPLE DE PLANIFICACIÓ DE L'ESCALA D'UN VOL DE LLARGA DISTÀNCIA.	30
FIGURA 14: ESQUEMA TEMPORAL DE L'ESCALA D'UNA AERONAU.	31
FIGURA 15: ESQUEMA TEMPORAL DEL TURNAROUND D'UNA AERONAU PUNTUAL.....	33
FIGURA 16: ESQUEMA TEMPORAL DEL TURNAROUND D'UNA AERONAU AMB RETARD ABSORBIBLE.	33
FIGURA 17: ESQUEMA TEMPORAL DEL TURNAROUND D'UNA AERONAU AMB RETARD NO ABSORBIBLE. .	34
FIGURA 18: QUADRE PARCIAL AMB DADES RELACIONADES AMB L'ARRIBADA DELS VOLS ANALITZATS...	36
FIGURA 19: QUADRE PARCIAL AMB DADES RELACIONADES AMB EL MANTENIMENT DELS VOLS ANALITZATS	37
FIGURA 20: QUADRE PARCIAL DELS RETARDS I COSTOS AMB UN BUFFER DE 5 MINUTS.....	38
FIGURA 21: QUADRE PARCIAL DELS RETARDS I COSTOS AMB UN BUFFER DE 25 MINUTS.....	39
FIGURA 22: COST TOTAL DEL TEMPS D'ESCALA SEGONS EL BUFFER AFEGIT.	40
FIGURA 23: EVOLUCIÓ DE RETARDS EN L'ARRIBADA D'AERONAUTS AL LLARG D'UN DIA.....	41
FIGURA 24: EVOLUCIÓ DE RETARDS EN LES OPERACIONS DE MANTENIMENT AL LLARG D'UN DIA.	41
FIGURA 25: COSTOS DELS RETARDS DIVIDINT ELS VOLS EN FRANGES HORÀRIES.	42
FIGURA 26: BOXPLOT DELS COSTOS DE RETARDS DE 329 VOLS AL LLARG D'UN DIA.	43

Introducció

1.1. Interès i motivació

Els aeroports actuen com a punt de connexió entre les aeronaus i els passatgers i la càrrega. És on es realitzen un seguit d'activitats que poden classificar-se segons a qui vagin destinades: l'aeronau, els passatgers, l'equipatge, o la càrrega. Per tant, són una peça clau perquè el transport aeri funcioni correctament tractant de complir amb els temps i planificació esperats.

Les aeronaus són construccions de transport dissenyades per volar; el temps que l'aeronau no està a l'aire es tradueix en ingressos que s'estan deixant de guanyar. Però hi ha un conjunt d'operacions essencials que cal realitzar per tal que l'aeronau pugui operar correctament i complint els requisits de seguretat necessaris, que es duen a terme durant l'escala o *turnaround*.

Les aerolínies tenen un gran interès per minimitzar el temps total d'escala; que en problemes de planificació horària es considera *makespan*, és a dir, el temps total requerit per processar un conjunt de tasques.

Actualment, la gestió d'aeroports i aerolínies es centra en gran part en descongestionar l'espai aeri. Però segons un estudi realitzat per l'aeroport de Gatwick, el control del tràfic aeri (ATC) és responsable del 30% dels retards en vols, mentre que un 25% és per qüestions dels serveis en terra (*ground handling*) i per problemes en les escales de les aeronaus (ACI-Europe, 2000).

Caldria, doncs, centrar part dels esforços en la millora dels serveis de terra, ja que és el segon causant del retards aeris, amb el consegüent augment de costos operacionals que comporten. A més, la reducció del temps d'escala o *turnaround time* és d'interès mutu entre les línies aèries i els aeroports: permet donar-li un major ús a la flota, i l'aeroport té més capacitat amb llocs d'estacionament d'aeronaus lliures. A més, la línia aèria de baix cost Ryanair va indicar que un dels punts clau per tenir èxit en el mercat del transport aeri europeu és la puntualitat durant les escales (Wu, 2007); de nou, es veu l'interès per part de les aerolínies d'optimitzar el procés de les escales comercials.

Atès que hi ha un gran interès per minimitzar el temps d'escala d'una aeronau, ja existeixen estudis que intenten resoldre l' "*Aircraft Turnaround Problem*" (ATP) i millorar el sistema usats en l'actualitat.

L'ATP s'ha intentat resoldre usant el mètode de camins crítics simulant l'escala d'una aeronau (Wu, 2007). Cal considerar que en les operacions de handling en un aeroport hi ha algunes tasques que no poden iniciar-se fins que alguna altre hagi finalitzat, per tant, amb un seguit de restriccions; es podria tractar com una versió del problema "*Resource Constraint Project Scheduling Problem*" (RCPSp). D'altra banda, també es podria parlar d'un "*Job-Shop Scheduling Problem*" (JSSP) ja que cada tasca cal fer-la una sola vegada, i no és imprescindible seguir sempre el mateix ordre en casa escala.

Tot i els possibles plantejaments de resolució al ATP, a dia d'avui és la pròpia experiència dels coordinadors de vol i altres agents implicats el que s'acaba aplicant al organitzar les escales aèries.

1.2. Objectius

1.2.1. Objectiu general

Aquest projecte té doble finalitat: (a) analitzar el problema de l'optimització del temps total d'escala de les aeronaus; i (b) proposar una metodologia que permeti obtenir bones solucions al problema anterior en temps de computació raonables.

1.2.2. Objectius bàsics

Els objectius generals comentats a l'apartat anterior es poden desglossar en els següents objectius més específics:

- Descriure detalladament les operacions i serveis que defineixen l'escala d'una aeronau a un aeroport.
- Revisar els treballs científics dedicats a estudiar el problema de l'escala d'una aeronau.
- Analitzar quins mètodes s'usen actualment en la pràctica a l'hora de planificar l'ordre de les operacions de *handling* d'aeronaus.

1.2.3. Objectius complementaris

Un cop assolits els objectius bàsics se'n proposen altres de complementaris:

- Recomanar estratègies i bones pràctiques que poden usar-se per tal d'optimitzar el temps de duració de l'escala d'aeronaus.
- Analitzar els resultats obtinguts del problema.
- Modelar diferents escenaris del problema.

1.3. Metodologia i organització del projecte

El primer pas, abans de començar a analitzar el problema i buscar-hi una solució és documentar-se; buscar informació sobre de quin tipus de problema es tracta, i veure si ja ha estat analitzat anteriorment, per tenir fonts d'on poder treure informació i dades amb les quals treballar. Es busquen articles científics en bases de dades, tals com Science Direct, Taylor & Francis o Emerald, i es consulten llibres de la indústria aeronàutica.

Tot seguit, a l'apartat de "Conceptes Bàsics", s'investiga sobre quines són les operacions que cal dur a terme durant un escala aèria comercial, i quin temps aproximat cal destinar a cada una d'elles. En aquest punt, caldrà tenir en compte que les tasques de handling variaran segons el tipus d'aeronau i segons condicions externes, tals com la zona d'estacionament assignada, les condicions mediambientals, el tipus de vol que farà l'aeronau, si es transporta càrrega o no, entre d'altres.

Un cop ja es té prou informació a nivell teòric, caldrà passar a la part més tècnica; investigar quins mètodes s'han proposat per resoldre el problema, i quins mètodes s'estan aplicant a la realitat, que s'inclouen als apartats de "Revisió de Literatura Científica" i de "Pràctiques Actuals".

Coneguts els sistemes ja existents hi ha la "Descripció Formal de Problema", on es dissenya un algorisme que es centra en analitzar quin temps addicional convé afegir al temps total d'escala per evitar retards. Un cop implementat un model que resolgui el problema, caldrà verificar-lo i validar-lo; i així passar a analitzar els resultats obtinguts; aquests passos s'inclouen en els apartats "Model de Resolució" i en "Experiments Numèrics i Resultats".

Finalment, caldrà recollir en una memòria tots els informes i notes fetes al llarg de l'estudi. I es dona per acabada amb unes conclusions sobre la resolució del problema.

Conceptes bàsics

2.1. Concepte de Temps d'Escala

El temps d'escala o *turnaround* és la franja de temps que va des de que l'avió es troba a l'estacionament amb les falques col·locades fins l'instant en que la posició d'estacionament queda lliure per a una altra aeronau. Temps en el qual es prepara l'aeronau per el pròxim vol a realitzar.

Les aerolínies estableixen i distingeixen dos tipus de temps d'escala:

- Temps d'escala programada o turnaround: es fixa d'acord amb el càlcul i experiència dels temps estàndard de les operacions, considerant un funcionament i productivitat normals.
- Temps programat d'escala: és el temps d'escala amb un marge afegit per possibles condicions adverses que puguin provocar un retard en el temps d'escala, però on es compleix el temps de sortida.

Segons el tipus de vol i d'aeronau de que es tracti el temps d'escala pot variar; les distincions que es solen fer són (Isidro Carmona, 2004):

- Tràfic domèstic.
- Tràfic internacional.

Es tractarà d'un tipus de tràfic o altre segons l'enfoc de la geografia política, que afectarà a l'operativa de controls duaners i immigració. D'altra banda, els vols també es poden classificar segons la longitud del viatge:

- Tràfic de curt recorregut.
- Tràfic de llarg recorregut.

En aquest cas, la divisió sí afecta a l'operació de handling en terra, com en aspectes de les operacions de càtering o càrrega d'equipatges.

2.2. Operacions

Durant l'escala comercial, hi ha un seguit de serveis que cal dur a terme; es classifiquen segons si van dirigits als passatgers, a l'aeronau o a la càrrega.

2.2.1. Equips d'assistència als passatgers

Són equips dirigits a atendre i servir als passatgers.

Escales de passatgers

Són els equips necessaris per permetre l'embarcament i desembarcament dels passatgers a bord de l'avió. S'usen quan l'aeronau està en posició remota, i per tant no es pot accedir directament a la terminal mitjançant una passarel·la o *finger*.



II-lustració 1: Escales autopropulsades.

Equips d'embarcament i desembarcament

En el cas d'aeronaus estacionades en posició remota, el vehicle més comú pel transport de passatgers fins o des de l'avió, és l'autobús; tot i així, també hi ha aeroports que usen el tren subterrani.



II-lustració 2: Autobús o jardineria de passatgers (Cobus 3000).

Una variant de l'autobús aeroportuari és l'autobús elevable, tot i que suposa elevats costos, i la terminal ha d'estar adaptada al seu ús. A més, per a passatgers amb mobilitat reduïda, també hi ha vehicles adaptats.

En cas que l'aeronau estigui estacionada en una posició connectada a la terminal, l'embarcament i desembarcament es realitza mitjançant passarel·les o *fingers*.



Il·lustració 3: Passarel·la de connexió amb la terminal.

2.2.2. Equips d'assistència a l'aeronau

Com a equips d'assistència a l'aeronau es consideren els que són necessaris pel manteniment de l'aeronau, i els equips d'aprovisionament durant el turnaround.

Falques

Són uns dispositius que es col·loquen al tren d'aterratge de l'aeronau per tal d'immobilitzar-la durant la seva assistència en terra.



Il·lustració 4: Falques col·locades al tren d'aterratge.

Grup elèctric de terra

Els GPUs (*Ground Power Unit*) són equips que proporcionen la potència elèctrica que necessita l'aeronau en terra. L'ús de GPU permet evitar la posta en marxa de l'APU (*Auxiliary Power Unit*).



Il·lustració 5: Grup elèctric (GPU).

Grup pneumàtic

L'ASU (*Air Starter Unit*) insufla aire comprimit a elevada temperatura i es pot utilitzar en diferents situacions.

L'ús més comú és proporcionar aire a pressió als motors per posar-los en marxa, en els casos en que l'aeronau no disposi d'un sistema autònom d'electricitat APU (*Auxiliary Power Unit*) a bord, o bé que aquest estigui inoperatiu. L'APU no es pot encendre fins 20 minuts abans de la sortida de l'aeronau.



Il·lustració 6: Grup pneumàtic (ASU).

Grup d'aire condicionat

L'ACU (*Air Conditioning Unit*) refreda o calenta l'aire de les cabines de l'aeronau.



Il·lustració 7: Grup d'aire condicionat (ACU).

Tractors de remolc de l'aeronau

Són equips que s'usen per empènyer les aeronaus des de la terminal fins a l'extrem de la plataforma durant la maniobra de *push-back*, posicionant l'aeronau perquè iniciï el moviment pels carrers de rodatge.

Poden ser tractors amb barra de remolc, que són model més antics, o bé sense barra (*Towbar-Less o Tug*) que es connecten directament a les rodes de l'aeronau.



Il·lustració 8: Remolcador Towbar-Less.

Equips de desgel

Són equips que subministren mescles de fluids de desgel a les aeronaus per treure acumulacions de neu i gel.

Segons les condicions meteorològiques és suficient aplicar una sola vegada el fluid de desgel (Tipus I), però en cas que l'aeronau no arribi a la capçalera de pista

sense gel o neu a la seva superfície s'haurà de tornar a aplicar un líquid antigel (Tipus II o Tipus IV).



Il·lustració 9: Equip de desgel.

Equips d'aprovisionament a les aeronaus

- Aigua potable: es subministra aigua potable a l'aeronau mitjançant camions cisterna.
- Aigües residuals: s'usen camions cisterna amb tres dipòsits diferents amb els quals es recullen les aigües residuals de l'aeronau, es subministra aigua neta als vàters, i es mesclen detergents amb l'aigua neta.
- Neteja: segons el tipus d'aeronau es necessitaran més o menys equips que s'encarreguen de netejar l'interior de l'aeronau, renovar bosses de mareig, col·locar capçals nous, i recollir les escombraries.
- Càtering: són vehicles que carreguen i descarreguen trolleys a l'avió, i aprovisionen de menjar i begudes pels passatgers i la tripulació.
- Combustible: segons els aeroports i la posició d'estacionament de l'aeronau, la recàrrega de combustible es realitza amb camions cisterna, o bé, es subministra el combustible directament des de l'entrada situada a la plataforma.
- Manteniment d'aeronaus: en els casos en que es requereixi, proporcionen assistència tècnica a les aeronaus.
- Transport de tripulació: en els casos en que es requereixi, porten i recullen la tripulació.



Il·lustració 10: Equip de transferència de combustible des de la plataforma.

2.2.3. Equips d'assistència a la càrrega

La carga pot anar carregada a l'avió amb ULDs (Unit Load Device), que poden ser contenidors, xarxes, o palets, i que permeten la manipulació de forma modular i més ràpida. D'altra banda, també poden venir carregats a granel (bulk-load), cas en que cal descarregar cada unitat individual i manualment.

Els equips bàsics per a la càrrega i descàrrega de l'equipatge són els següents.

Tractors i carros

Els tractors són els equips utilitzats per arrossegar els carros on van els equipatges, mercaderies o correu.



Il·lustració 11: Tractor i dos carros transportadors d'equipatges.

Cintes transportadores

Són els equips que s'utilitzen per carregar o descarregar equipatges a les bodegues de l'aeronau.



Il·lustració 12: Cinta transferidora d'equipatges.

Si la carrega de l'aeronau és mitjançant ULDs poden resultar necessaris una sèrie d'equips de terra addicionals:

- Transferidora i plataforma elevadora per contenidors i palets.
- Transportadors de contenidors i palets.
- Carros portapalets.
- Carros portacontenidors.
- Camió plataforma.
- Camió per contenidors i palets.
- Elevador de ganxo.



Il·lustració 13: Plataforma elevadora i transferidora.

Revisió de Literatura Científica

Pel que fa a la planificació del turnaround d'aeronaus comercials en aeroports es poden distingir dos possibles problemes.

En un primer escenari es distingeix cada operació que cal dur a terme durant l'escala, i cal trobar l'ordre òptim per tal de minimitzar el temps total de l'escala reduint-ne els costos.

En un segon escenari no es detalla cada activitat individualment, sinó que es tracta l'escala com un sol bloc, des de que l'aeronau té les falques posades fins que està disponible per dirigir-se a la pista d'enlairament. En aquest cas es busca minimitzar els costos considerant la puntualitat dels vols a partir d'afegir un buffer de temps addicional, de manera que es disposa de més marge per completar tota l'escala i evitar, així, possibles retards.

Problema 1: Planificació de les operacions del turnaround

Optimitzar el temps de l'escala comercial distingint cada operació en concret és un problema poc estudiat actualment.

Jürgen Kuster (2006) proposa una variant del '*Resource-Constrained Project Scheduling Problem*' (RCPSP), el *x-RCPSP*, en que es defineixen activitats alternatives que poden substituir a les operacions bàsiques per tal de modificar el model.

Enlloc de disposar d'unes determinades activitats, amb *x-RCPSP* hi ha un conjunt format per diverses activitats que no necessàriament cal que es realitzin totes. Les activitats es classifiquen en:

- Activitats actives: són les activitats potencials que permeten dur a terme el model. Per exemple, desembarcar o recarregar combustible.
- Activitats inactives: són les activitats que poden no ser incloses al model final. Per exemple, desembarcar amb més autobusos, o recarregar combustible amb vigilància de bombers.

Igual que en *RCPSP*, hi ha restriccions de precedència, és a dir, algunes activitats no poden realitzar-se abans que d'altres. A més, algunes activitats requereixen de recursos per poder-se dur a terme. La principal variant es troba en que algunes activitats poden desactivar-se sent substituïdes per altres que són activades.

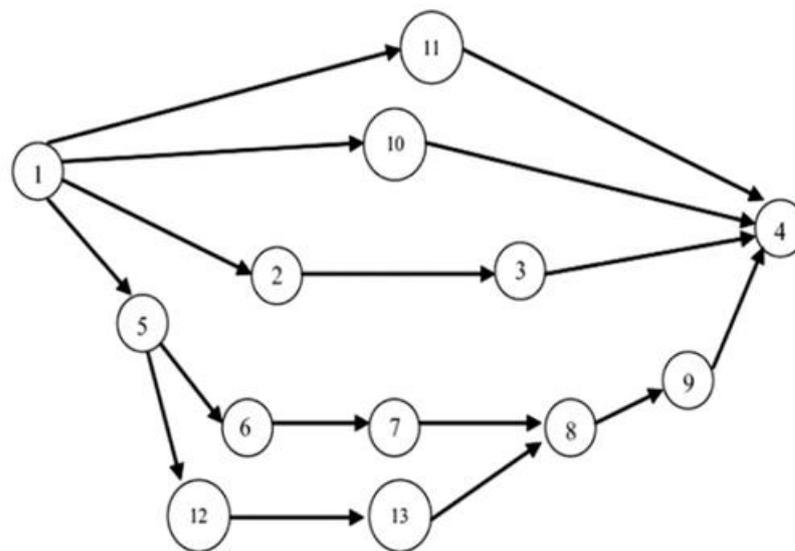
Kuster proposa un model on agafa com a punt de referència el model format per activitats bàsiques, com per exemple: desembarcar – combustible – neteja – càtering – embarcar, i a partir de la base es van alternant activitats combinant els costos dels retards esperats amb els costos que suposaria substituir alguna activitat.

De l'estudi realitzat Kuster conclou que variant el RCPSP de manera que es puguin alternar activitats, es poden obtenir bons resultats que optimitzin el model de

l'escala comercial d'un avió, encara que el temps necessari per trobar una solució òptima sigui elevat.

D'altra banda, el mètode *Project Evaluation and Review Technique* (PERT) també s'ha usat per avaluar i tractar de millorar el turnaround aeroportuari, ja que permet planificar un conjunt d'activitats, algunes d'elles dependents entre si. Algunes activitats poden iniciar-se només quan les precedents hagin finalitzat; aquesta relació s'indica amb nodes, fent referència a les operacions, connectats entre si amb arcs per indicar les dependències.

Cheng-Lung Wu (2010) presenta la xarxa de la 'Figura 1' com a exemple de turnaround comercial, amb la llista dels seus nodes corresponents. El node 1 representa l'arribada de l'aeronau a la porta, i el 4 la sortida; la resta de nodes són les operacions que cal dur a terme durant l'escala.



Node	Activity	Duration
1	Aircraft on stand (start)	0
2	Cargo/baggage off-loading	20
3	Cargo/baggage loading	25
4	Push back/taxi (finish)	0
5	Passengers disembarking	10
6	Cabin cleaning	15
7	Security procedures	3
8	passenger boarding	15
9	Crew checklist procedures	3
10	Aircraft fuelling	25
11	Maintenance check	25
12	Catering off-loading	10
13	Catering loading	10

Figura 1: Diagrama PERT corresponent a un turnaround (Wu, 2010)

Així doncs, el node 11 es refereix a la revisió de manteniment, el node 10 al subministrament de combustible, el camí (1, 2, 3, 4) fa referència a les activitats amb

els equipatges, el camí (1, 5, 6, 7, 8, 9) són les activitats a bord, i els nodes 12 i 13 fan referència al càtering.

Cada camí és independent entre si, és a dir, es pot revisar tècnicament l'aeronau (node 11) a la vegada que s'està desembarcant (node 5). Tot i així, no es podran iniciar les tasques de càtering (node 12) fins que no desembarquin tots els passatgers (node 5).

L'objectiu principal d'un anàlisi PERT és trobar el camí crític, de manera que el retard d'una activitat crítica implica un retard en tot el sistema. Wu analitza diferents escenaris i conclou que el camí crític de l'exemple proposat és (1, 5, 12, 13, 8, 9, 4), és a dir, el format per les operacions a bord de l'aeronau: arribada de l'aeronau – desembarcament de passatgers – càtering – embarcament de passatgers – control pel personal de cabina – push back .

Problema 2: Afegir un buffer de temps a l'escala

Un estudi realitzat per **Harmut Fricke (2009)** en col·laboració amb “*Lufthansa City Line*” mostra que les causes principals dels retards són la rotació de les aeronaus en un 30%, és a dir, vols amb retard. En quart lloc es troben les activitats de handling amb un 10%, referint-se a retards causats per embarcaments lents, errors de handling, etc. Com a solució als retards durant el turnaround es proposa afegir un buffer de temps que absorbeixi els possibles retards, evitant així els costos que suposen.

Normalment, l'estratègia seguida per les aerolínies per tal de complir amb uns temps de turnaround més fiables consisteix en afegir un buffer de temps a l'escala considerant-la com a temps total. Però Fricke proposa afegir un buffer de manera dinàmica segons l'activitat de què es tracti, centrant-se sobretot en les activitats que formen el camí crític.

Incrementar el temps del camí crític implica incrementar-lo en tot el sistema, per tant a simple vista no interessa afegir un buffer a les activitats que el formen. Tot i així, un retard en aquestes activitats també implicaria una propagació en tot el sistema; així doncs, cal trobar el punt d'equilibri.

Usant dades de “*Deutsche Lufthansa*”, Fricke presenta tres possibles funcions estadístiques que encaixen amb els temps de durada de les activitats del model analitzat: Weibull, Gamma, i Normal. Per al desembarcament, neteja, càtering i embarcament conclou que la Weibull és la funció que millor encaixa pel que fa al temps de durada de les activitats. En canvi, en el cas de les operacions amb combustible encaixa millor una Gamma. I pel que fa al moment en que s'inicien les activitats, encaixen totes amb una distribució Normal.

A partir de les dades mostrades a la 'Figura 2' sobre la durada de cada activitat, i a partir de la 'Figura 3' sobre el moment d'inici de les mateixes, Fricke modela el comportament dels retards usant simulació de Monte Carlo (MC).

Process	α	β	Δx	μ	σ
De-boarding	2.07	4.04	1	4.57	1.81
Cleaning	2.16	6.76	5	10.99	2.94
Catering	2.18	17.37	0	15.38	7.51
Fueling (<u>Gamma</u>)	1.64	9.12	2	10.16	5.06
Boarding	3.42	16.74	3	18.05	4.85

Figura 2: Paràmetres de distribució estadística per a la duració de les operacions (Fricke, 2009).

Process		Arrival Delay (min)					
		on time	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30
De-boarding	μ	1.65	1.78	1.64	2.19	2.67	1.89
	σ	0.63	0.55	0.60	1.29	1.31	1.15
Cleaning	μ	11.84	9.79	9.74	8.76	8.65	8.94
	σ	4.51	3.46	2.43	2.26	2.58	2.65
Catering	μ	12.43	12.49	10.37	10.70	10.47	9.83
	σ	4.96	5.74	3.39	2.98	2.92	2.86
Fueling	μ	18.02	15.34	15.43	13.45	13.76	11.98

Figura 3: Temps d'inici de les operacions segons el retard en l'arribada de l'aeronau (Fricke, 2009).

De l'estudi fet amb MC s'obté que, de les aeronaus ateses que arriben puntuals, un 58% de les escales no són afectades per les operacions en terra ja que ja disposen de suficient buffer de temps per absorbir possibles retards. En canvi, en el cas d'aeronaus que arriben amb un retard d'entre 25 i 30 minuts, només el 34% de les escales es poden dur a terme sense problemes a les operacions de terra que permeten que el retard no es propagui.

Fricke conclou que a partir dels temps de les 'Figures 2 i 3', el temps d'escala mínim és de 38 minuts, i el temps buffer recomanable és de 9 minuts, que es redueix a mesura que hi ha més retard, tal i com es mostra a la 'Figura 4'.

Delay	Min. TA (min)	Total Buffer (min)	TA with Buffer (min)	Expected TA (min)	Process Interactions (min)
Scheduled	38	17.78	55.78	57.93	2.15
5 – 10 minutes	38	12.85	50.85	54.03	3.18
10 – 15 minutes	38	9.64	47.64	50.97	3.33
15 – 20 minutes	38	7.27	45.27	49.31	4.04
20 – 25 minutes	38	9.62	47.62	51.03	3.41
25 – 30 minutes	38	5.47	43.47	48.83	5.36

Figura 4: Temps d'escala i buffer recomanat segons el retard en l'arribada (Fricke, 2009).

Cheng-Lung Wu (2000) estudia quina és la relació entre la puntualitat dels vols i l'eficiència de les operacions durant l'escala, també plantejant l'opció d'afegir un buffer de temps per minimitzar els costos.

Per analitzar el problema, dissenya un model matemàtic amb dades estocàstiques de la puntualitat, i distingint els costos operacionals de les aeronaus, els generats pels retards i els generats pel cost d'oportunitat de les aeronaus. Se'n conclou que com més marge de temps es doni, més puntuals seran els vols; però cal trobar el punt d'equilibri entre els costos ja que, aleshores, augmenten els costos d'operació i el cost d'oportunitat. Així doncs, gestionar el buffer de temps és un aspecte clau per optimitzar el sistema pel que fa als costos totals i a la puntualitat dels vols.

En un altre article presentat també per **Cheng-Lung Wu (2004)** es segueix analitzant la possibilitat d'afegir un marge de temps extra al temps de turnaround. L'avantatge principal és que els retards en els vols es veuen absorbits pel buffer, però s'estaran incorrent en costos d'oportunitat i més costos d'operacions en terra. Per tant, no només cal centrar-se en la puntualitat del vols evitant retards, sinó que també cal tenir en compte l'ús que se li dona a les aeronaus per evitar que estiguin molt de temps parades en aeroports enlloc d'estar volant.

Wu, presenta el problema d'afegir un buffer de temps suficient perquè absorbeixi els retards, i explica quins són els costos que considera per fer l'anàlisi; divideix els costos de l'aeronau centrant-se en el fet que se'n perd productivitat durant els retards, i els costos dels passatgers, ja que perden el valor del seu temps durant l'espera.

Wu proposa un model per tal de minimitzar els costos totals de l'escala comercial basat en l'esquema de la 'Figura 5'.

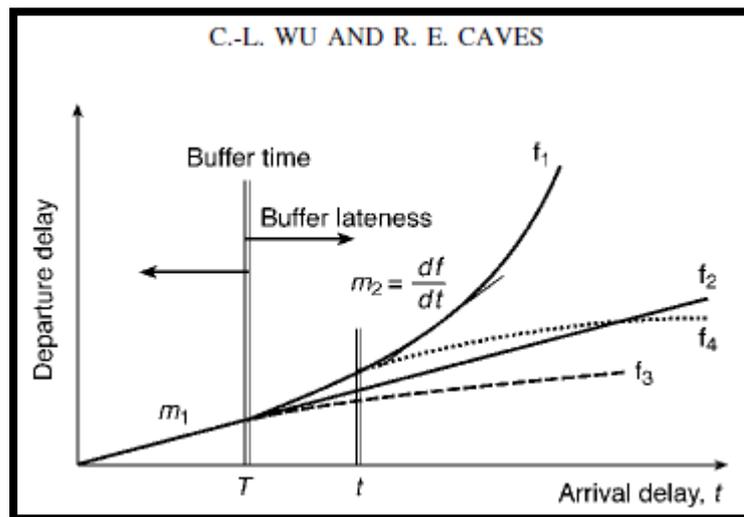


Figura 5: Possible escenaris del turnaround d'una aeronau.

Els retards (t) menors al temps de buffer fixat (T) poden ser absorbits (m_1) sense afectar l'operativa. Però en cas que el retard (t) sigui major que el buffer (T) es poden presentar tres possibles escenaris:

- Corba f_2 : el nombre de retards de sortida és linealment proporcional al nombre de retards d'arribades.
- Corba f_3 : el nombre de retards de sortida disminueix gràcies a l'activitat dels agents de handling, i no és, doncs, equivalent als retards d'arribada.
- Corba f_1 : el nombre de retards de sortida augmenta ja que totes les operacions es veuen afectades a causa de les arribades amb retard. Tot i així, segons com es gestioni el retard en el millor dels casos podria passar a ser la corba f_4 .

Així, doncs, la pendent de cada corba (m_2) mostra la capacitat d'acció de l'agent de handling davant d'un retard. Si $m_2 \leq 1$, el comportament del retard serà del tipus f_2 o f_3 . En cas contrari, serà f_1 , és a dir un retard relacionat amb una arribada fora d'hora que afecta a que les operacions de handling es realitzin a temps.

Conclou que afegir un temps buffer adequat segons les necessitats de cada vol permet gestionar la puntualitat de l'escala comercial minimitzant els costos totals del sistema. Cal trobar el punt d'equilibri pel que fa al temps buffer que s'afegeix; no convé que sigui mínim ja que qualsevol petit problema que hi hagi pot causar un retard en el vol, amb els costos que comporta. Però tampoc convé que sigui un buffer molt gran ja que encara que no permeti retards pot implicar costos d'operació i d'oportunitat extres.

Pràctiques actuals

Tot i els estudis científics presentats anteriorment, a la pràctica són altres els mètodes usats per planificar el turnaround de les aeronaus.

Segons el tipus de vol i d'aeronau es requerirà més o menys temps d'escala; en vols de curta distància i per tant aeronaus de fuselatge estret tals com A320 o B737 el temps total d'escala es troba al voltant dels 30 minuts. Mentre que en el cas d'aeronaus de fuselatge ample per trajectes més llargs, tals com l'A340 o B747, el temps d'escala pot ser d'una hora o més.

Els fabricants d'aeronaus proposen models sobre en quin ordre recomanen que es realitzin les operacions, a partir de les característiques de l'aeronau de que es tracti. En el cas de les escales comercials d'aeronaus de fuselatge estret com l'A320, **Airbus S.A.S. (2005)** considera com a condicions estàndard les mostrades a la 'Figura 6', on es plantegen dos escenaris: en un primer cas, s'ofereixen tots els serveis atenent a 150 passatgers amb una sola porta de l'aeronau operativa, i es requeririen uns 48 minuts. En un segon cas, s'ofereixen només els serveis bàsics, atenent a 180 passatgers amb dues portes operatives, i es requeririen 23 minuts per finalitzar l'escala.

En ambdós casos no hi ha passatgers que necessitin assistència o persones de mobilitat reduïda (PMR), fet que provocaria que el procés de desembarcament i/o embarcament fos més lent. La revisió de seguretat consisteix en analitzar l'interior de l'aeronau per si hi ha objectes oblidats, i comprovar els seients de seguretat i armilles salvavides.

	Servei complet	Servei mínim
	150	180
Passatgers	1 porta, sense PMR	2 portes, sense PMR
Desembarcament	22 pax / min / porta	20 pax / min / porta
Embarcament	18 pax / min / porta	15 pax / min / porta
Càtering	11 Trolleys	No
Neteja	Temps disponible	No
Revisió seguretat	4 min.	4 min.
Canvi del personal de cabina	4 min.	No
Equipatge	FWD, AFT, BULK	FWD, AFT, BULK
Combustible	5.6 tones	5.6 tones
Aigua potable	100%	0%
Aigües residuals	100%	0%
Temps d'escala	48 minuts	23 minuts

Figura 6: Quadre de serveis proposat per Airbus per a un A320.

La planificació resultant de les operacions proposada per Airbus es mostra a la 'Figura 7', pel cas d'un servei complet de 48 minuts, on es considera el temps que el vehicle de servei necessita per posicionar-se indicat amb color taronja, i el temps de l'operació amb turquesa.

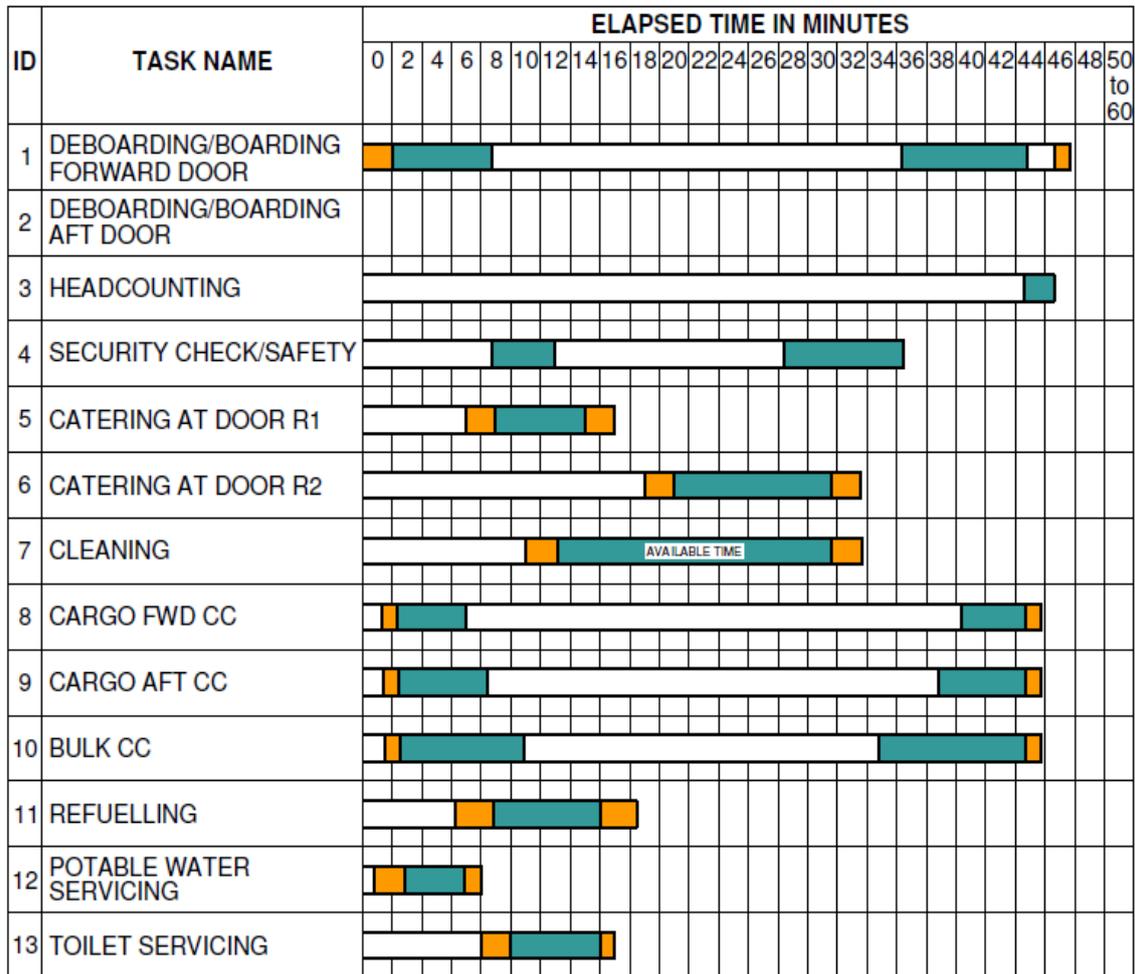


Figura 7: Escala comercial completa proposat per Airbus per un A320 (Airbus S.A.S., 2005).

El segon escenari d'Airbus per un A320 oferint els serveis mínims amb un temps d'escala total de 23 minuts es mostra a la 'Figura 8'.

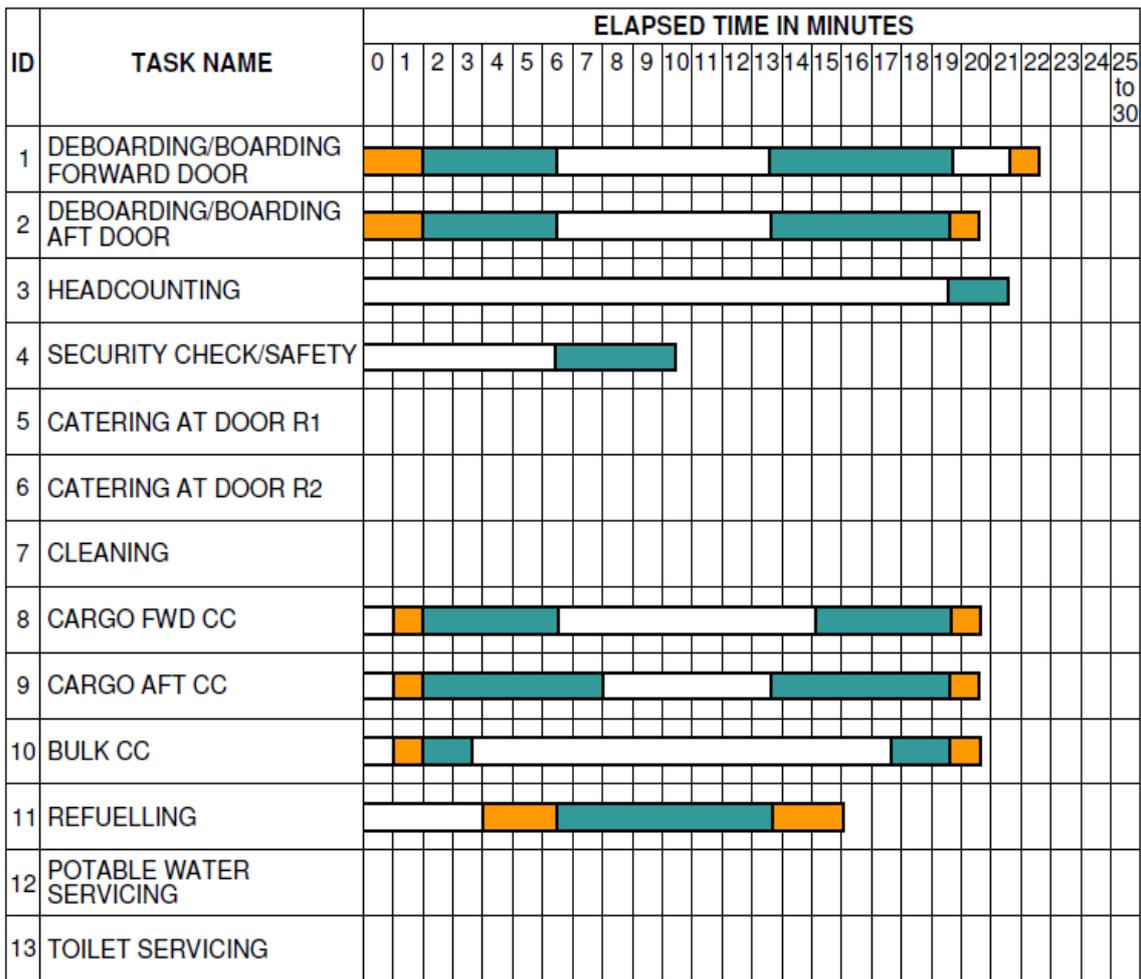


Figura 8: Escala comercial mínima proposada per Airbus per un A320 (Airbus S.A.S., 2005).

D'altra banda, el fabricant **Boeing (2005)** també proposa un model similar pel cas de la seva aeronau equivalent a l'A320, el 737. En un escenari amb 160 passatgers desembarcant-ne 18 per minut, i embarcant-ne 12 per minut, i descarregant 15 maletes per minut i carregant-ne 10 per minut. L'escala comercial resultant és de 36 minuts tal i com es mostra a la 'Figura 9'.

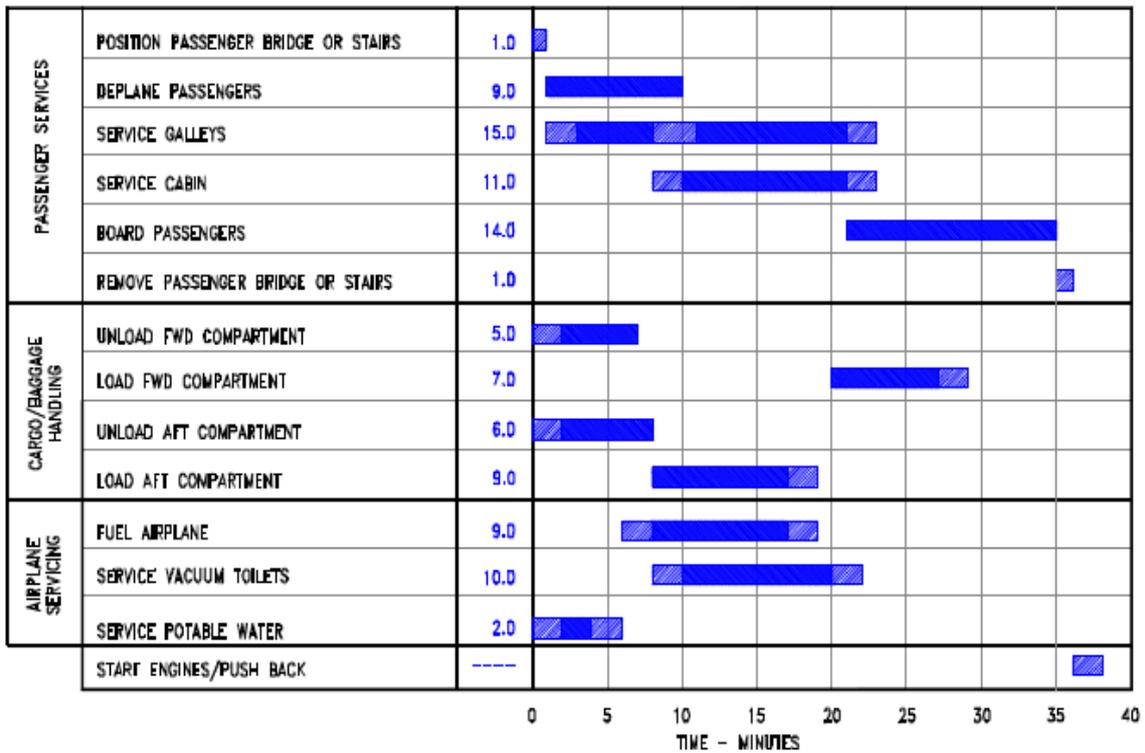


Figura 9: Escala comercial proposada per Boeing per a un 737-800 (Boeing, 2005).

Boeing presenta també un model similar en el cas d'un 737 amb capacitat de 177 passatgers, cas en que es requereixen uns 38 minuts per completar la seva escala comercial tal i com es mostra a la 'Figura 10'.

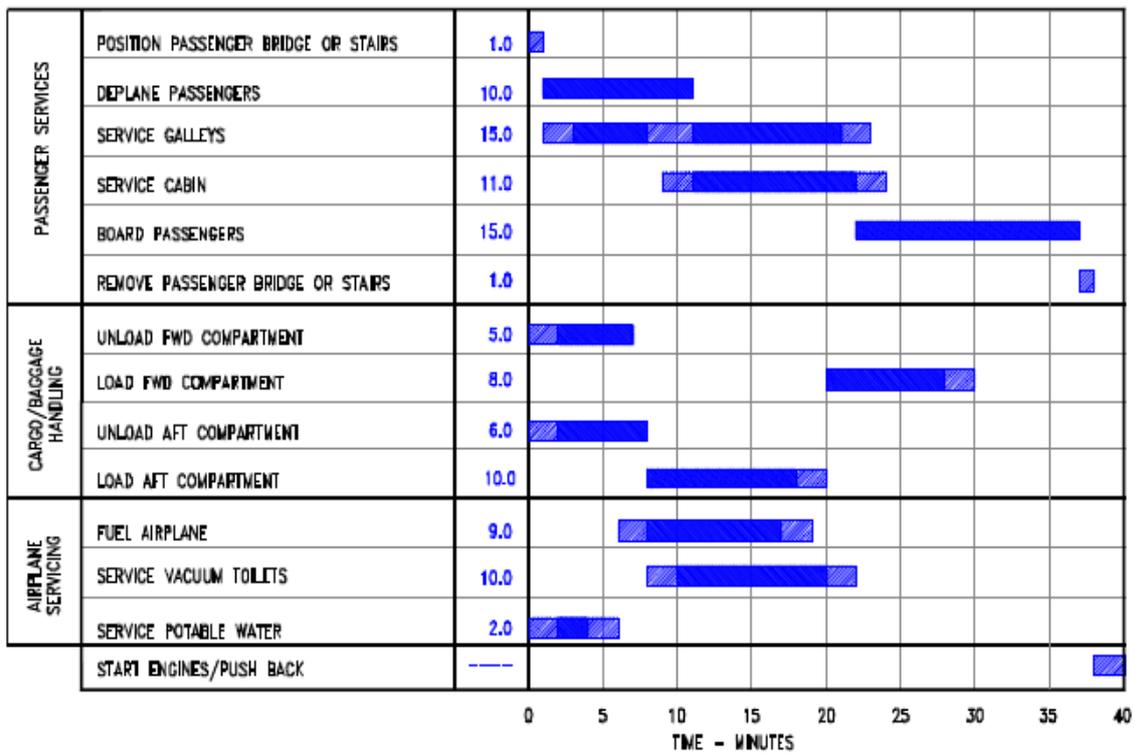


Figura 10: Escala comercial proposada per a un 737-900 (Boeing, 2005).

Les planificacions presentades pels fabricants d'aeronaus són proposades les quals les companyies de handling adapten d'acord amb l'experiència adquirida; així, per exemple, a la 'Figura 11' es mostra una escala aproximada a seguir en vols de curta distància, on es requereix un temps total aproximat d'uns 36 minuts.

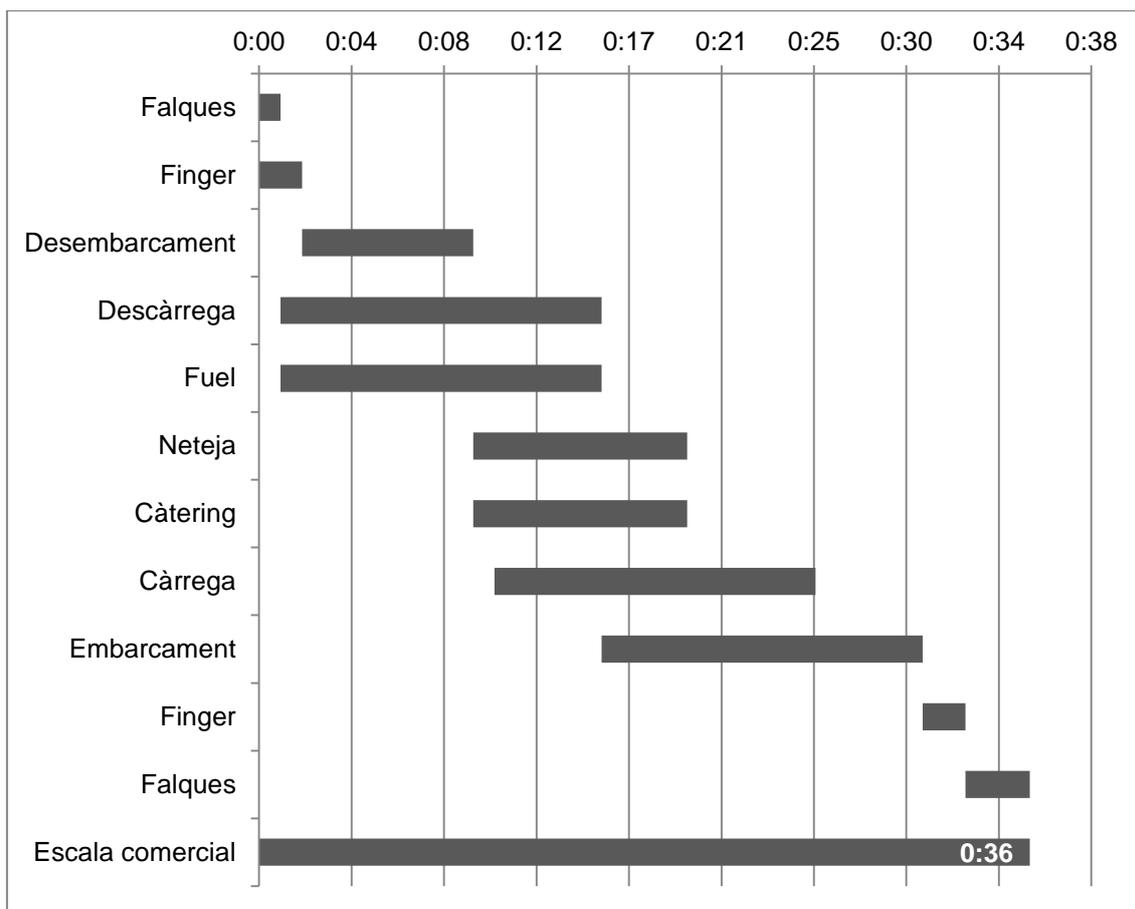


Figura 11: Exemple de planificació de l'escala d'un vol de curta distància.

Atès que es tracta de l'escala d'una aeronau petita, com podria ser un A320 o B737, les operacions requereixen relativament poc temps per ser completades. Les activitats d'omplir combustible, neteja i càtering no es realitzen segons l'aerolínia de la que es tracti, tot i així, la no existència d'aquestes operacions no afectaria al temps total de l'escala.

Segons el destí i moment en que es realitzi el vol hi haurà un determinat nombre de passatgers i maletes, per tant, la durada de les activitats corresponents podria variar afectant al temps total d'escala.

Per agilitzar el procés de l'escala hi ha ocasions en que interessa realitzar algunes tasques a la vegada. D'acord amb EU-OPS, el reglament de seguretat de la Unió Europea, cal dur a terme un procediment determinat si es vol desembarcar o embarcar mentre s'estan realitzant operacions amb combustible. En el cas que l'aeroport permeti la presència de passatgers a bord durant la recàrrega de combustible, es requereix la presència o vigilància a distància d'un equip de bombers; es coneix com a embarcament de pre-alerta, i permet reduir el temps d'escala fins a un total d'uns 31 minuts, tal i com es veu en la planificació d'operacions de la 'Figura 12'.

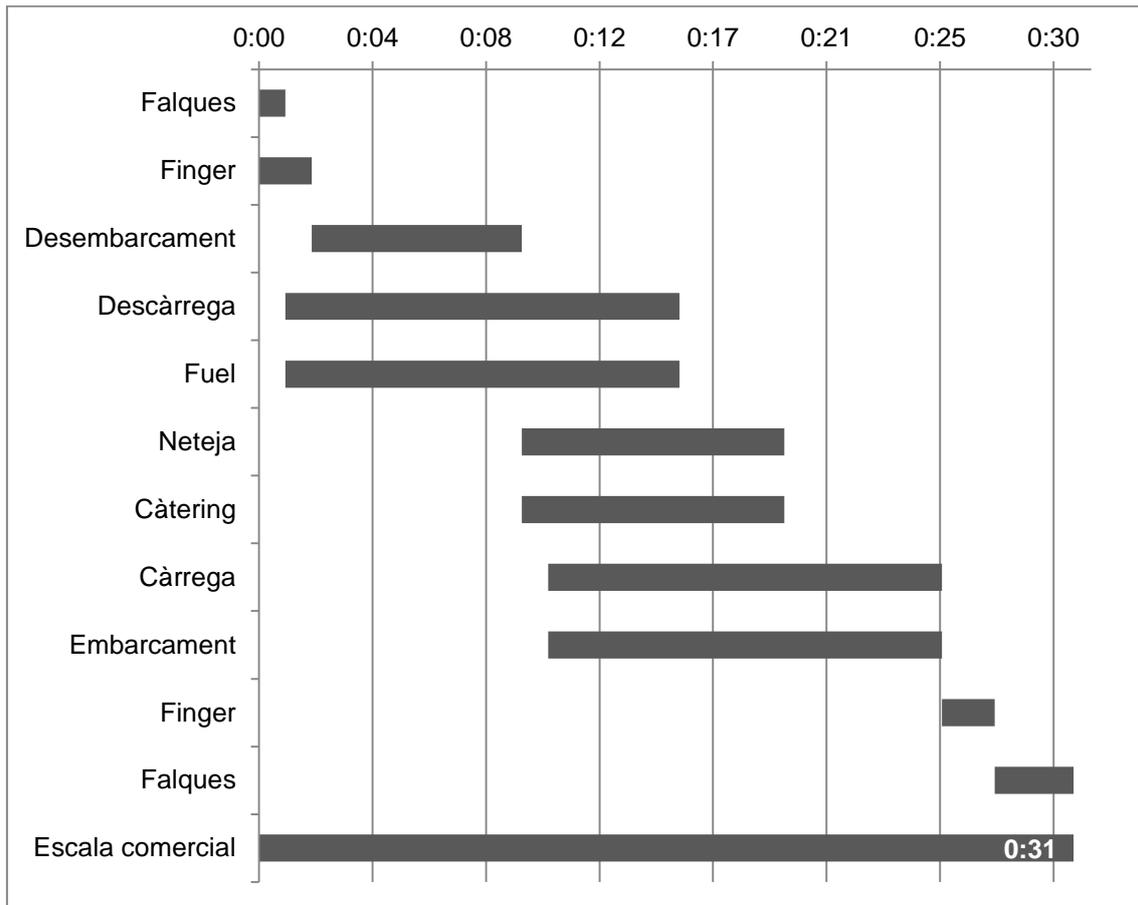


Figura 12: Exemple de planificació de l'escala amb pre-alerta d'un vol de curta distància.

Si es tracta d'una vol de llarga distància les operacions de càrrega requereixen, a comparació, molt més temps, ja que es transporten els equipatges dels passatgers a més de càrrega especial i més voluminosa i pesant. A més, al ser aeronaus més grans, hi viatgen més quantitat de passatgers, per tant, totes les operacions necessiten més temps per ser finalitzades.

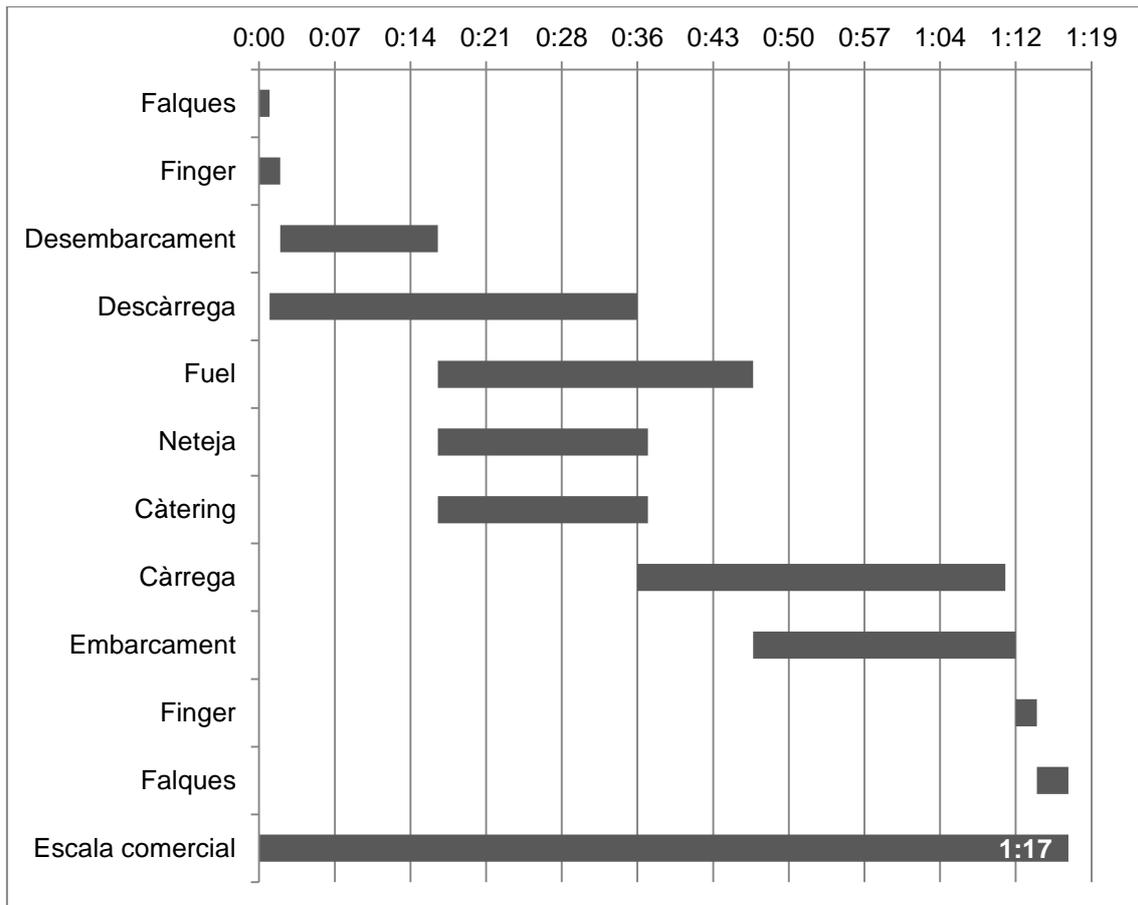


Figura 13: Exemple de planificació de l'escala d'un vol de llarga distància.

La 'Figura 13' mostra un exemple d'escala d'aproximadament una hora i 17 minuts, tot i que en els casos de vols de llarga distància el temps total d'escala pot arribar a requerir fins a tres hores.

Ens els tres casos comentats anteriorment, si l'aeronau no està estacionada connectada a la terminal, sinó que està en posició remota, caldria afegir un mínim de 10 minuts al temps d'embarcament, ja que cal considerar que l'ús d'autobusos fa que l'embarcament sigui més lent.

Descripció Formal del Problema

Les variables i símbols usats en el problema es resumeixen a continuació:

C_T : *Total Cost*, cost total de l'escala.

C_D : *Delay Cost*, costos associats a un retard.

C_O : *Opportunity Cost*, costos d'oportunitat associats a que l'avió esperi a terra.

α : Factor que indica si hi ha retard (valor 1) o no (valor 0).

$delay_A$: *Arrival Delay*, retard per l'arribada tard de l'aeronau.

$delay_M$: *Maintenance Delay*, retard per acabar tard les operacions de terra.

$delay_T$: *Total Delay*, retard total de l'escala.

t_{sa} : *Scheduled Arrival Time*, hora planificada d'arribada.

t_{sd} : *Scheduled Departure Time*, hora planificada de sortida.

T_a : *Arrival Time*, hora real d'arribada.

t_d : *Departure Time*, hora real de sortida.

t_{sm} : *Scheduled Maintenance Time*, temps de manteniment planificat.

T_m : *Maintenance Time*, temps de manteniment o turnaround real.

t_{sr} : *Scheduled Readiness Time*, hora planificada que l'aeronau estarà llesta.

t_r : *Readiness Time*, hora real que l'aeronau està llesta.

t_b : *Buffer Time*, buffer o temps addicional.

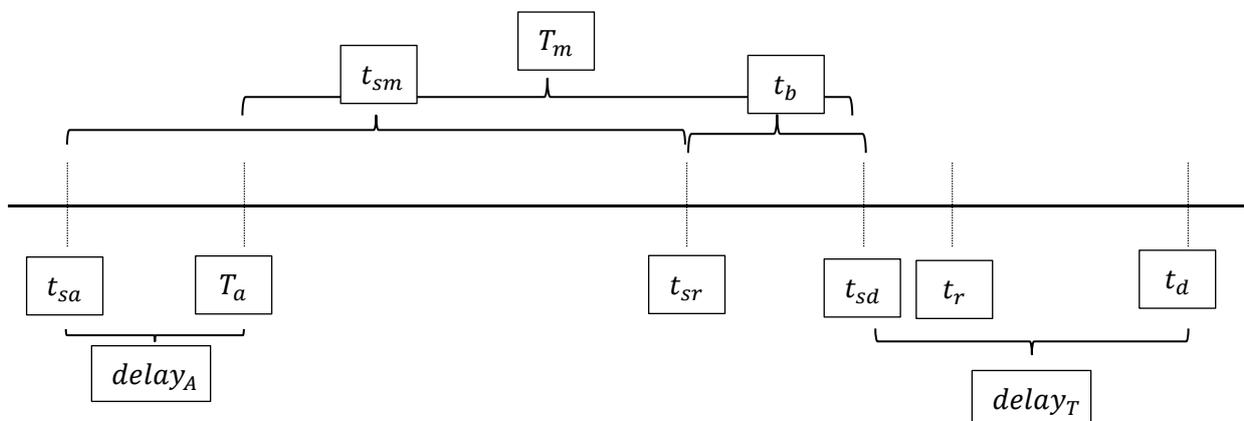


Figura 14: Esquema temporal de l'escala d'una aeronau.

La 'Figura 14' mostra un esquema bàsic de l'escala d'una aeronau. S'indiquen les hores d'arribada planificada (t_{sa}) i real (T_a), la diferència entre elles és el retard en l'arribada ($delay_A$). Si l'aeronau hagués arribat puntual estaria llesta per marxar un cop finalitzat el manteniment (t_{sr}), però el fet d'arribar tard implica que estigui llesta uns minuts més tard (t_r). L'aeronau tenia planificat sortir (t_{sd}) al acabar el marge de temps addicional (t_b), però realment surt més tard (t_d). La diferència entre l'hora planificada de sortida i la real és el retard total ($delay_T$).

El buffer de temps addicional s'afegeix per absorbir retards causats durant l'arribada, o bé durant les operacions de terra, per tal de reduir els costos associats que suposa un retard en la planificació.

La funció objectiu de l'escala d'una aeronau és:

$$(1) \quad \text{Min } E[C_T(t_{delay})] = \alpha \cdot E[C_D(t_{delay})] + (1 - \alpha) \cdot E[C_O(t_{delay})]$$

On:

- (2) $\alpha = \{0,1\}$
- (3) $t_{sa} = E[T_a]$
- (4) $t_{sm} = E[T_m]$
- (5) $0 \leq t_b \leq t_{max}$
- (6) $T_a \sim We(\alpha, \beta)$
- (7) $T_m \sim We(\alpha', \beta')$
- (8) $t_d = \text{Max}\{t_{sa} + t_{sm} + t_b, t_{sa} + t_{sm} + t_b + ((T_a - t_{sa}) + (T_m - t_{sm}) - t_b)\}$
- (9) $t_{sd} = t_{sa} + t_{sm} + t_b$
- (10) $delay_T = t_d - t_{sd}$

L'objectiu és minimitzar el cost total de l'escala (C_T), el qual estarà format per uns costos determinats si hi ha retard (C_D), o bé per uns altres costos d'oportunitat si no hi ha retard (C_O). No es coneixen els valors exactes dels costos, sinó que són previsions aproximades, per això són valors esperats.

$$\text{Min } E[C_T(t_{delay})] = \alpha \cdot E[C_D(t_{delay})] + (1 - \alpha) \cdot E[C_O(t_{delay})]$$

S'indica si hi ha retard o no amb el factor α , que tindrà el valor 0 en cas que no hi hagi retard, o 1 en cas contrari:

$$\alpha = \begin{cases} 0 & \text{if } t_{delay} < 0 \\ 1 & \text{if } t_{delay} \geq 0 \end{cases}$$

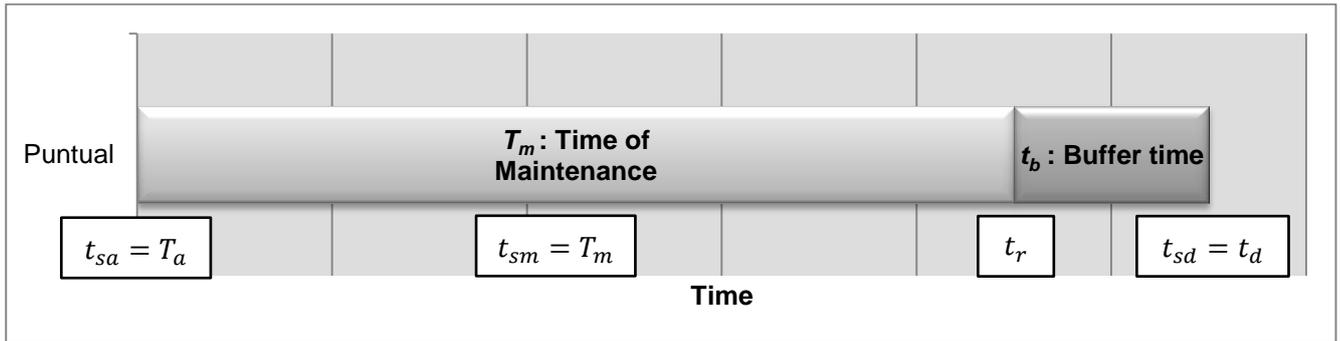


Figura 15: Esquema temporal del turnaround d'una aeronau puntual.

Tal i com es mostra a la 'Figura 15', en un possible escenari on l'aeronau compleix amb tots els horaris, es coneix l'hora planificada d'arribada (t_{sa}), l'hora planificada de manteniment (t_{sm}) i l'hora planificada de sortida (t_{sd}). Però pot haver-hi incidents que no permetin que l'aeronau compleixi amb els horaris, així doncs, es distingeixen l'hora real d'arribada (T_a), el temps real de manteniment (T_m), i l'hora real de sortida (t_d). Tot i així, en el problema es considera que l'aeronau no pot arribar abans de l'hora fixada, com s'expressa a l'Eq. (3). I igual amb el temps de manteniment, es considera que ha de durar el mínim fixat o més si hi ha retard, com a l'Eq. (4).

El temps de sortida planificat (t_{sd}) es determina a partir de l'hora planificada d'arribada, el temps planificat de manteniment i el temps buffer, com a l'Eq. (9). Per tant, la diferència entre la sortida planificada i la real, encara que sigui absorbible pel buffer, indicarà quin és el temps de retard, com a l'Eq. (10).

Les variables t_{sr} i t_r són només informatives i indiquen el moment en què s'han finalitzat les operacions de terra i que l'aeronau està llesta per iniciar el push-back. En aquest primer escenari de la 'Figura 15', l'aeronau arriba puntual, per tant, les hores d'arribada i sortida planificades són iguals que les reals.

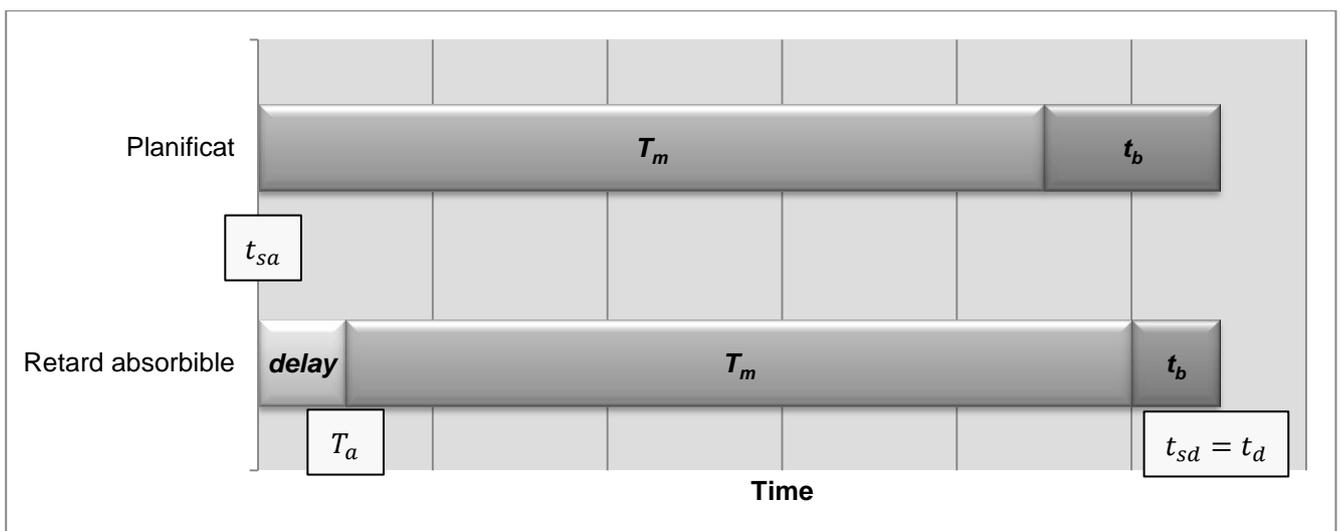


Figura 16: Esquema temporal del turnaround d'una aeronau amb retard absorbible.

En un segon possible escenari, com a la 'Figura 16', l'aeronau arriba amb retard ($t_{sa} < T_a$), però el temps de buffer és suficient per absorbir-lo i evitar que es propagui.

En un tercer escenari, com a la 'Figura 17', l'aeronau arriba amb retard ($t_{sa} < T_a$), però en aquest cas el temps de buffer no és suficient per absorbir-lo, per tant el retard es propaga, afectant l'hora de sortida de l'aeronau.

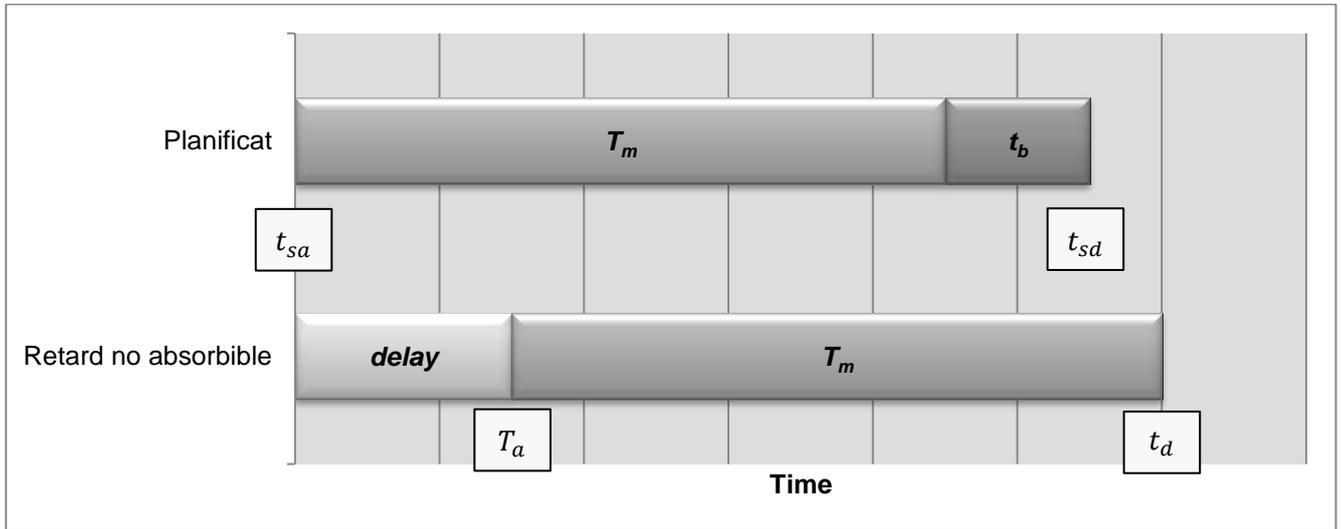


Figura 17: Esquema temporal del turnaround d'una aeronau amb retard no absorbible.

La variable T_a és aleatòria i segueix una funció de distribució Weibull com a l'Eq. (6). A més, hi ha el temps de manteniment (T_m) que fa referència a la franja de temps necessària per realitzar totes les operacions en terra durant l'escala, i que també segueix una funció Weibull com a l'Eq. (7).

D'altra banda, el temps buffer es fixarà segons les necessitats, però sempre dins d'un límit, com s'expressa a l'Eq. (5).

La variable t_d no és aleatòria ja que, en cas que no hi hagi retard, s'obté a partir del temps d'arribada planificat, el temps de manteniment i el temps de buffer. En cas que sí hi hagi retard cal afegir el temps no absorbible pel buffer a partir de la diferència entre l'arribada real i la planificada, i a partir de la diferència entre el manteniment real i planifica.

$$\begin{aligned}
 &\text{if } ((T_a - t_{sa}) + (T_m - t_{sm})) \leq t_b \\
 &\quad \text{then } t_d = t_{sa} + t_{sm} + t_b \\
 &\text{if } ((T_a - t_{sa}) + (T_m - t_{sm})) > t_b \\
 &\quad \text{then } t_d = t_{sa} + t_{sm} + t_b + \left(((T_a - t_{sa}) + (T_m - t_{sm})) - t_b \right)
 \end{aligned}$$

És a dir, el temps de sortida sempre serà el major entre les dues opcions presentades, tant si el buffer es suficient per absorbir el retard com si no, com es mostra a l'Eq. (8).

Per calcular els costos del turnaround cal distingir dos tipus de retards, el causat per l'arribada tard de l'aeronau ($delay_A$), i el causat perquè la duració de les operacions en terra s'allarguin més de ho esperat ($delay_M$).

En l'arribada només es considera la puntualitat o el retard, però no el fet que l'aeronau arribi abans a l'aeroport:

$$\begin{aligned} \text{if } T_a - t_{sa} > 0 & \quad \text{then } delay_A = T_a - t_{sa} \\ \text{if } T_a - t_{sa} \leq 0 & \quad \text{then } delay_A = 0 \end{aligned}$$

I igual amb el manteniment, en cas que es finalitzi abans de l'hora planificada no es considera:

$$\begin{aligned} \text{if } T_m - t_{sm} > 0 & \quad \text{then } delay_M = T_m - t_{sm} \\ \text{if } T_m - t_{sm} \leq 0 & \quad \text{then } delay_M = 0 \end{aligned}$$

El buffer de temps que s'afegeixi interessa que sigui suficient per cobrir retards però no gaire gran per no perdre costos d'oportunitat. Així, un cop afegit el buffer de temps a l'escala si aquest és suficient per cobrir el retard el cost serà per cada minut extra de buffer que no s'utilitzi ($Time_{Extra}$). En canvi, si el buffer no és suficient un cop afegit, el cost serà per cada minut de retard ($Time_{Delay}$).

$$\begin{aligned} \text{if } t_b > delay_T & \\ & \quad \text{then } Time_{Delay} = 0 \quad \&\& \quad Time_{Extra} = t_b - delay_T \\ \text{if } t_b \leq delay_T & \\ & \quad \text{then } Time_{Delay} = delay_T - t_b \quad \&\& \quad Time_{Extra} = 0 \end{aligned}$$

Model de Resolució

El software usat per calcular i analitzar possibles solucions al problema és *Microsoft Excel 2010*. I les dades numèriques s'obtenen dels vols durant un dia d'operació a l'aeroport de Barcelona - El Prat, extretes a partir de **FlighStats.com (2012)**.

La 'Figura 18' és una part del quadre usat per realitzar els càlculs, es mostren 20 iteracions de les totals; es disposen dades reals de 329 vols de diferents companyies, dels qual es coneixen les hores d'arribada planificades (t_{sa}), indicades a la columna 'tsa = E[Ta]', i les hores reals d'arribada (T_a), indicades a la columna 'Ta'. A partir d'aquestes dades es pot calcular el retard derivat de l'arribada tard de l'aeronau ($delay_A$), indicat a la columna 'delay_A'.

Per exemple, el vol de Vueling Airlines (VY) de la iteració 10 tenia planificada l'arribada a les 7:00 hores, però arriba a les 7:05 hores, per tant, té un retard d'arribada de 5 minuts.

		Arrival Time (Ta)		
Airline	It	tsa = E[Ta]	Ta	delay_A
VY	1	0:10	0:00	0:00
VY	2	0:25	0:10	0:00
VY	3	1:00	0:46	0:00
VY	4	1:45	0:46	0:00
VY	5	1:45	1:37	0:00
VY	6	2:05	1:39	0:00
VY	7	2:10	1:55	0:00
IB	8	5:35	5:26	0:00
VY	9	6:40	6:40	0:00
VY	10	7:00	7:05	0:05
VY	11	7:00	7:05	0:05
AA	12	7:10	8:11	1:01
FR	13	7:25	7:13	0:00
AC	14	7:35	8:04	0:29
IB	15	7:55	8:20	0:25
UX	16	7:55	7:45	0:00
IB	17	7:55	8:20	0:25
AB	18	8:00	10:46	2:46
VY	19	8:05	8:03	0:00
IB	20	8:10	8:06	0:00

Figura 18: Quadre parcial amb dades relacionades amb l'arribada dels vols analitzats.

Respecte al temps de manteniment en terra es fixa com a base un mínim de 40 minuts (t_{sm}), indicat a la columna 'tsm = E[Tm]' de la 'Figura 19'. I el temps real que s'ha requerit per completar totes les operacions són dades realístiques indicades a la columna 'Tm'. D'ambdós, s'obté el retard derivat de necessitar més temps que el planificat en el manteniment ($delay_M$), indicat a la columna 'delay_M'.

A partir de totes les anteriors dades, es pot conèixer ja el retard total ($delay_T$) de cada vol, indicat a la columna 'Delay_Total', i a nivell informatiu es mostra també en quin instant de temps està cada aeronau llesta per iniciar el *push-back*.

Maintenance Time (Tm)			Delay_Total	tr = td-tb
tsm = E[Tm]	Tm	delay_M		
0:40	0:40	0:00	0:00	0:40
0:40	0:40	0:00	0:00	0:50
0:40	0:38	0:00	0:00	1:24
0:40	0:40	0:00	0:00	1:26
0:40	0:40	0:00	0:00	2:17
0:40	0:40	0:00	0:00	2:19
0:40	0:40	0:00	0:00	2:35
0:40	0:40	0:00	0:00	6:06
0:40	0:45	0:05	0:05	7:25
0:40	0:48	0:08	0:13	7:53
0:40	0:50	0:10	0:15	7:55
0:40	0:50	0:10	1:11	9:01
0:40	1:15	0:35	0:35	8:28
0:40	0:50	0:10	0:39	8:54
0:40	0:40	0:00	0:25	9:00
0:40	0:40	0:00	0:00	8:25
0:40	0:59	0:19	0:44	9:19
0:40	0:55	0:15	3:01	11:41
0:40	0:45	0:05	0:05	8:48
0:40	0:40	0:00	0:00	8:46

Figura 19: Quadre parcial amb dades relacionades amb el manteniment dels vols analitzats

Dels mateixos 20 primers vols analitzats es mostra a la 'Figura 20' quin seria el cost equivalent segons cada buffer de temps que s'afegeixi, d'acord amb els temps que s'han requerit en tota l'escala.

És a dir, per exemple el primer vol tenia planificada l'arribada a les 0:10 hores, però realment arriba a les 0:00 hores (Figura 18). El manteniment també el compleix, amb un total de 40 minuts, així doncs, no hi ha cap retard. L'aeronau estaria llesta per marxar a les 0:40 hores però en aquest problema no es considera un inici dels temps

abans dels planificats. D'acord amb la 'Figura 20' si s'afegís un buffer de temps de 5 minuts, atès que no hi havia cap retard, el cost que hauria d'assumir l'aerolínia seria d'oportunitat, amb un cost total de 95€, a 19€ cada minut extra que l'aeronau està en terra.

Un altre exemple, seria la iteració 14; l'aeronau havia d'arribar a les 7:35 hores, i realment arriba a les 8:04 hores (Figura 18), per tant arriba amb un retard de 29 minuts. A més, el manteniment enlloc de tardar 40 minuts en tarda 50, un retard addicional de 10 minuts més (Figura 19). Així doncs, el retard total és de 39 minuts, en cas d'afegir un temps buffer de 5 minuts es passa a tenir un retard de 34 minuts, no és suficient per tant el cost total és de 850€, provinents de 34 minuts de retard a 25€ (Figura 20).

Buffer Time = 5 min							
tb	T Delay	T Extra	Cd/min	Cost_Delay	Co/min	Cost_Opport	Cost_Total
0:05	0:00	0:05	25,00 €	0,00 €	19,00 €	95,00 €	95,00 €
0:05	0:00	0:05	25,00 €	0,00 €	19,00 €	95,00 €	95,00 €
0:05	0:00	0:05	25,00 €	0,00 €	19,00 €	95,00 €	95,00 €
0:05	0:00	0:05	25,00 €	0,00 €	19,00 €	95,00 €	95,00 €
0:05	0:00	0:05	25,00 €	0,00 €	19,00 €	95,00 €	95,00 €
0:05	0:00	0:05	25,00 €	0,00 €	19,00 €	95,00 €	95,00 €
0:05	0:00	0:05	25,00 €	0,00 €	19,00 €	95,00 €	95,00 €
0:05	0:00	0:05	25,00 €	0,00 €	19,00 €	95,00 €	95,00 €
0:05	0:00	0:00	25,00 €	0,00 €	19,00 €	0,00 €	0,00 €
0:05	0:08	0:00	25,00 €	200,00 €	19,00 €	0,00 €	200,00 €
0:05	0:10	0:00	25,00 €	250,00 €	19,00 €	0,00 €	250,00 €
0:05	1:06	0:00	25,00 €	1.650,00 €	19,00 €	0,00 €	1.650,00 €
0:05	0:30	0:00	25,00 €	750,00 €	19,00 €	0,00 €	750,00 €
0:05	0:34	0:00	25,00 €	850,00 €	19,00 €	0,00 €	850,00 €
0:05	0:20	0:00	25,00 €	500,00 €	19,00 €	0,00 €	500,00 €
0:05	0:00	0:05	25,00 €	0,00 €	19,00 €	95,00 €	95,00 €
0:05	0:39	0:00	25,00 €	975,00 €	19,00 €	0,00 €	975,00 €
0:05	2:56	0:00	25,00 €	4.400,00 €	19,00 €	0,00 €	4.400,00 €
0:05	0:00	0:00	25,00 €	0,00 €	19,00 €	0,00 €	0,00 €
0:05	0:00	0:05	25,00 €	0,00 €	19,00 €	95,00 €	95,00 €

Figura 20: Quadre parcial dels retards i costos amb un buffer de 5 minuts.

En aquest últim exemple, inclús si s'afegís un buffer de 25 minuts (Figura 21), el retard seguiria sent de 14 minuts, que implicaria un cost de 350€.

Buffer Time = 25 min							
tb	T Delay	T Extra	Cd/min	Cost_Delay	Co/min	Cost_Opport	Cost_Total
0:25	0:00	0:25	25,00 €	0,00 €	19,00 €	475,00 €	475,00 €
0:25	0:00	0:25	25,00 €	0,00 €	19,00 €	475,00 €	475,00 €
0:25	0:00	0:25	25,00 €	0,00 €	19,00 €	475,00 €	475,00 €
0:25	0:00	0:25	25,00 €	0,00 €	19,00 €	475,00 €	475,00 €
0:25	0:00	0:25	25,00 €	0,00 €	19,00 €	475,00 €	475,00 €
0:25	0:00	0:25	25,00 €	0,00 €	19,00 €	475,00 €	475,00 €
0:25	0:00	0:25	25,00 €	0,00 €	19,00 €	475,00 €	475,00 €
0:25	0:00	0:25	25,00 €	0,00 €	19,00 €	475,00 €	475,00 €
0:25	0:00	0:20	25,00 €	0,00 €	19,00 €	380,00 €	380,00 €
0:25	0:00	0:12	25,00 €	0,00 €	19,00 €	228,00 €	228,00 €
0:25	0:00	0:10	25,00 €	0,00 €	19,00 €	190,00 €	190,00 €
0:25	0:46	0:00	25,00 €	1.150,00 €	19,00 €	0,00 €	1.150,00 €
0:25	0:10	0:00	25,00 €	250,00 €	19,00 €	0,00 €	250,00 €
0:25	0:14	0:00	25,00 €	350,00 €	19,00 €	0,00 €	350,00 €
0:25	0:00	0:00	25,00 €	0,00 €	19,00 €	0,00 €	0,00 €
0:25	0:00	0:25	25,00 €	0,00 €	19,00 €	475,00 €	475,00 €
0:25	0:19	0:00	25,00 €	475,00 €	19,00 €	0,00 €	475,00 €
0:25	2:36	0:00	25,00 €	3.900,00 €	19,00 €	0,00 €	3.900,00 €
0:25	0:00	0:20	25,00 €	0,00 €	19,00 €	380,00 €	380,00 €
0:25	0:00	0:25	25,00 €	0,00 €	19,00 €	475,00 €	475,00 €

Figura 21: Quadre parcial dels retards i costos amb un buffer de 25 minuts.

Pel càlcul dels costos, d'acord amb un estudi de la universitat de Westminster, s'ha considerat que cada minut de retard són 25 €, i que cada minut adicional no usat són 19 € en referència al cost d'oportunitat de l'aeronau.

Experiments Numèrics i Resultats

A partir de les dades de què es disposa s'obté la mitjana de retard dels 329 vols, de manera que al llarg d'un dia d'operació del mes de juny de 2012 a l'aeroport de Barcelona, la mitjana de retards causats per l'arribada de l'aeronau és de 5 minuts i 47 segons. I els retards causats per les operacions durant l'escala són una mitjana de 2 minuts i 20 segons.

	b=0	b=5	b=10	b=15	b=20	b=25
Cost_Delay	202,81 €	152,81 €	117,10 €	90,65 €	72,34 €	57,45 €
Cost_Extra	0,00 €	57,00 €	124,86 €	199,76 €	280,84 €	364,52 €
TOTAL_COST	202,81 €	209,81 €	241,95 €	290,41 €	353,18 €	421,97 €

Figura 22: Cost total del temps d'escala segons el buffer afegit.

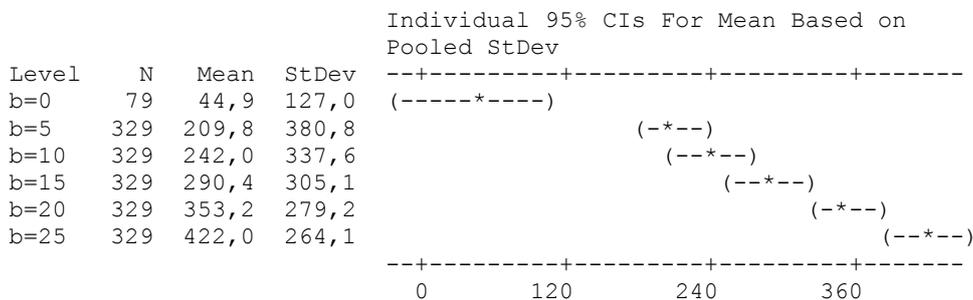
Així doncs, a la 'Figura 22' a partir de la mitjana total de retards es calcula el cost corresponent a cada minut de retard que no és absorbit pel buffer, i el cost de cada minut extra que es perd. Pel fet d'usar la mitjana els resultats indiquen que no interessa afegir cap buffer ja que els costos augmentarien, sent el mínim 202,81€.

Mitjançant el software estadístic *Minitab* es realitza un anàlisi de variància (ANOVA) per comparar els costos per a cada tipus de buffer, i confirmar que no es tracta dels mateixos grups de dades.

One-way ANOVA: b=0; b=5; b=10; b=15; b=20; b=25

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	5	14658177	2931635	30,49	0,000
Error	1718	165195114	96155		
Total	1723	179853290			

S = 310,1 R-Sq = 8,15% R-Sq(adj) = 7,88%



Pooled StDev = 310,1

El fet que el p-valor sigui baix ($P = 0,000$) indica que hi ha al menys un mostra que és diferent. La segona part mostra els intervals de confiança de cada grup analitzat, amb '*' per indicar-ne la mitjana. El primer grup, és a dir, no afegir buffer dona uns resultats completament diferents a la resta de grups, per tant, es tracta de diferents mostres. En canvi, el segon i tercer grups (de 5 a 10 minuts de buffer) es solapen, per tant es podria concloure que es tracta de la mateixa mostra.

La resta de grups estan prou separats; es confirma que es tracta de grups diferents. Pel que fa a afegir un buffer de 25 minuts, és el que més es diferencia de la resta, i amb els costos totals de la 'Figura 22' es confirma aquesta comprovació: equival als majors costos amb 421,97€.

Els càlculs fins ara realitzats han sigut respecte a la mitjana dels retards de tot un dia. Tot així, a la 'Figura 23 i 24' es mostren en un gràfic els retards d'arribada i de manteniment. Atès que no hi ha la mateixa quantitat de retards de manera uniforme es considera interessant dividir l'anàlisi en diferents segments.

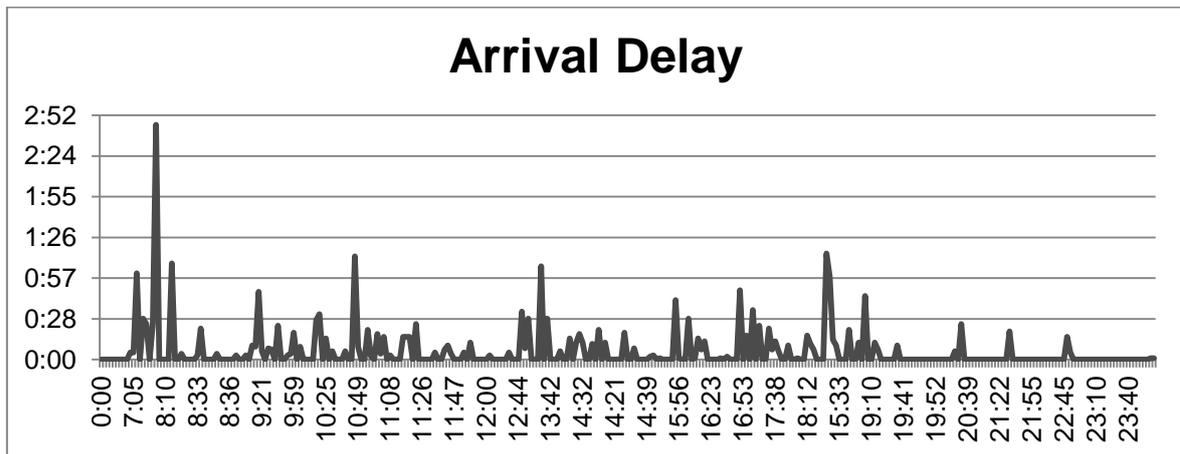


Figura 23: Evolució de retards en l'arribada d'aeronaus al llarg d'un dia.

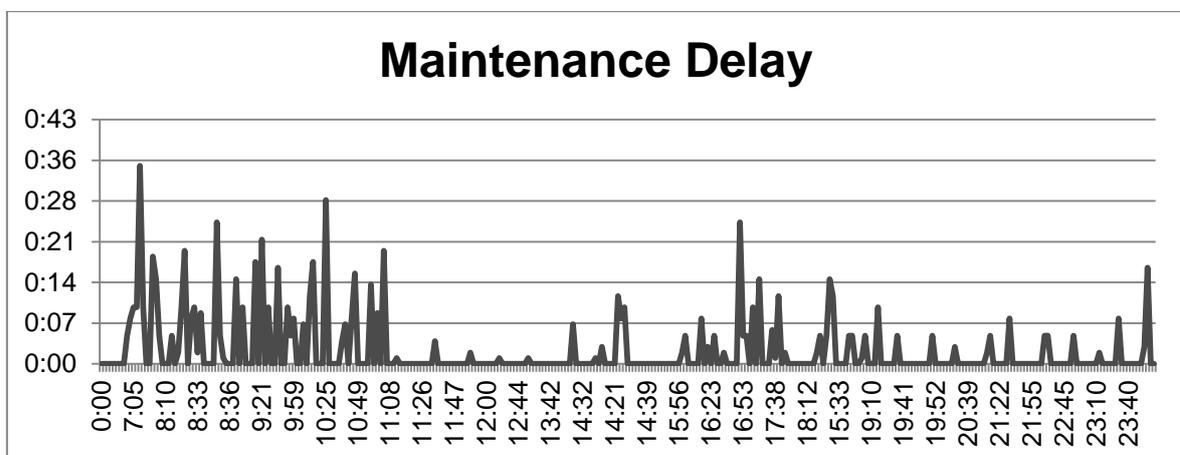


Figura 24: Evolució de retards en les operacions de manteniment al llarg d'un dia.

A la 'Figura 25' s'analitzen els costos dividint els vols en cinc franges horàries diferents. D'aquesta manera s'aplica un buffer que s'adapta millor a les necessitats en cada vol, incurrint en costos finals menors.

0:01 - 7:00	b=0	b=5	b=10	b=15
Cost_Delay	75,00 €	40,91 €	18,18 €	0,00 €
Cost_Extra	0,00 €	69,09 €	146,82 €	228,00 €
TOTAL_COST	75,00 €	110,00 €	165,00 €	228,00 €

7:01 - 12:00	b=0	b=5	b=10	b=15
Cost_Delay	328,16 €	259,71 €	206,55 €	167,23 €
Cost_Extra	0,00 €	42,98 €	97,58 €	162,70 €
TOTAL_COST	328,16 €	302,69 €	304,14 €	329,93 €

12:01 - 16:00	b=0	b=5	b=10	b=15
Cost_Delay	160,71 €	113,57 €	80,71 €	58,21 €
Cost_Extra	0,00 €	59,17 €	129,20 €	207,10 €
TOTAL_COST	160,71 €	172,74 €	209,91 €	265,31 €

16:01 - 20:00	b=0	b=5	b=10	b=15
Cost_Delay	233,78 €	179,73 €	138,51 €	106,42 €
Cost_Extra	0,00 €	53,92 €	117,59 €	188,20 €
TOTAL_COST	233,78 €	233,65 €	256,11 €	294,62 €

20:00 - 0:00	b=0	b=5	b=10	b=15
Cost_Delay	50,00 €	25,70 €	16,20 €	9,15 €
Cost_Extra	0,00 €	78,02 €	166,68 €	257,36 €
TOTAL_COST	50,00 €	103,72 €	182,88 €	266,52 €

Figura 25: Costos dels retards dividint els vols en franges horàries.

En el cas dels vols atesos entre les 0:00 i les 7:00 hores, entre les 12:00 i les 16:00 hores, i entre les 20:00 i les 0:00 hores no interessa afegir un buffer de temps. I en el cas dels vols entre les 7:00 i les 12:00 i entre les 16:00 i les 20:00 convé afegir-hi un buffer de 5 minuts.

També mitjançant *Minitab*, s'obté un diagrama de caixa o boxplot comparant els costos totals corresponents a afegir cada buffer possible. A la 'Figura 26', dins de cada caixa es troben la major part de les dades, els asteriscos situats a la part superior fora de les caixes es consideren valors atípics; són els vols que tenen retards extremadament elevats degut a causes estranyes.

La caixa va augmentant de tamany a mesura que augmenta el buffer, ja que cada vegada són majors els costos que cal assumir, ja sigui per retards o bé pel cost

d'oportunitat. Són els tres primers grups ($b=0$, $b=5$, $b=10$) on els costos són menors i on els buffers es consideren suficients per complir amb els horaris fixats a cada aeronau.

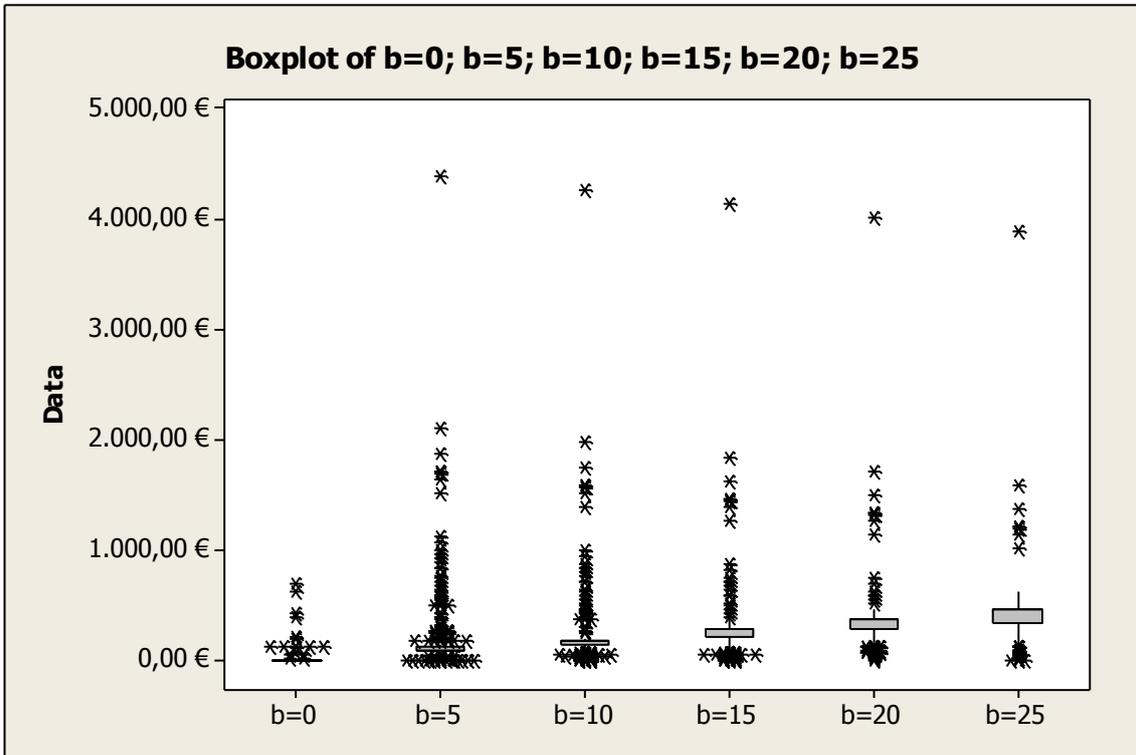


Figura 26: Boxplot dels costos de retards de 329 vols al llarg d'un dia.

Consultar Annex IV per veure el boxplot dels costos de retards dels vols dividits en franges horàries.

Conclusions

El problema de l'escala d'aeronaus (ATP) pot ser analitzat des de diferents punts de vista: considerant cada operació en terra de manera individual, o bé, fixant-se en el temps total d'escala. Però ambdós enfoc, centren l'interès en evitar que es produeixin retards i tractar de reduir els costos total de l'escala.

A partir de l'anàlisi realitzat considerant l'escala com a un sol bloc, es pot concloure que una possible solució per evitar incidents no esperats és afegir un temps addicional o buffer que permeti absorbir retards. Cal trobar el punt d'equilibri ja que afegir un buffer petit implicarà retards que suposaran més costos d'operació i compensacions als clients. Però tampoc convé afegir un buffer massa gran ja que aleshores hi haurà costos d'oportunitat en que l'aeronau podria estar ja volant.

El buffer que s'afegeixi interessa que es divideixi segons la franja horària de que es tracti, ja que no tots els vols atesos tenen les mateixes necessitats. Així, doncs, els costos menors es troben afegint un buffer d'entre 0 i 10 minuts.

Investigacions i tendències futures

Al iniciar el projecte l'objectiu principal era analitzar el problema del turnaround des d'un punt de vista d'activitats individuals en terra; però després d'analitzar estudis ja existents es va concloure que la planificació actual usada per les companyies de handling està ja molt limitada.

De manera que es va considerar més interessant abordar el mateix problema considerant l'escala com a una sola, i tractant de modelar un sistema que permetés reduir els costos derivats de retards.

El problema del turnaround en aeroports és molt complex; es podria seguir l'estudi centrant-se en diferents punts:

- Variar les dades. Tot i disposar de dades reals pel que fa als temps d'arribada d'aeronaus, provar diferents possibles comportaments a partir de distribucions estadístiques.
- Considerar variacions en els temps. En aquest problema no s'ha considerat, però seria interessant estudiar la possibilitat que l'aeronau arribi abans a l'aeroport o finalitzi abans les operacions de manteniment.
- Simulació. Analitzar diferents escenaris des d'un entorn més visual, usant programari com CAST o SIMIO.

REFERÈNCIES

Bibliografia

ACI-Europe, (2000) *Official News Bulletin for Members*, Airport Council International – Europe: Brussels).

Airbus S.A.S., (2005) *A320, Airplane Characteristics For Airport Planning*, Technical Data Support and Services.

Ashford N., Stanton H.P.M., Moore C.A., (1997) *Airport Operations*, Second Edition, Mc Graw Hill.

Beelaerts van Blokland W.W.A., Huijser R., Sthals R., Santema S.A., (2008) *Future airport turnaround ground handling processes*, TRAIL Research School, Delft University of Technology, The Netherlands.

Boeing, (2005), *737, Airplane Characteristics for Airport Planning*, Boeing Commercial Airplanes.

Cook A., Tanner G., Anderson S., (2004) *Evaluating the true cost to airlines of one minute of airborne or ground delay*, Performance Review Comission, University of Westminster.

Fricke H., Schultz M., (2009) *Delay Impacts onto Turnaround Performance*, USA – Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar.

Isidro Carmona A., (2004) *Servicios Aeroportuarios*, Fundación AENA.

Kuster J., Jannach D., (2006) *Handling Airport Ground Processes Based on Resource-Constrained Project Scheduling*, Department of Business Informatics and Application Systems, University of Klagenfurt, Austria.

Lindh A., Andersson T., Värbrand P., Yuan D., (2007) *Airport Logistics: Integration of ATM and ground processes*, Department of Science and Technology, Linköping University, Sweden.

Piotr Lukaszewicz P., (2005) “Metaheuristics for Job Shop Scheduling Problem, comparison of effective methods”, p. 11-12.

Wu C.L., (2010) *Airline Operations and Delay Management: Insights from Airline Economics, Networks and Strategic Schedule Plannig*, Ashgate.

Wu C.L., (2008) *Monitoring Aircraft Turnaround Operations – Framework Development, Application and Implications for Airline Operations*, Routledge.

Wu C.L., Caves R.E., (2000) *Aircraft operational costs and turnaround efficiency at airports*, Journal of Air Transport Management, Pergamon.

Wu C.L., Caves R.E., (2010) *Flight schedule punctuality control and management: a stochastic approach*, Routledge.

Wu C.L., Caves R.E., (2007) *Modelling and simulation of aircraft turnaround operations at airports*, Routledge.

Wu C.L., Caves R.E., (2004) *Modelling and optimization of aircraft turnaround time at an airport*, Routledge.

Pàgines web

Aena, www.aena.es

Aibus, www.airbus.com

Boeing, www.boeing.com

FlightStats, www.flightstats.com

Wikipedia, www.wikipedia.org

ANNEXES

Annex I: Costos usats de l'estudi de la universitat de Westminster.

Annex II: Dades usades amb Minitab.

Annex III: Boxplots realitzats amb Minitab.

Annex IV: Dades numèriques usades amb Excel.

Annex I: Costos usats de l'estudi de la universitat de Westminster.

Table 2-40: Cost of strategic ground buffer minute: 1 minute used at-gate

Aircraft and number of seats		based on 15 minutes' delay			based on 65 minutes' delay		
		cost scenario			cost scenario		
		low	base	high	low	base	high
B737-300	125	8	22	39	8	22	39
B737-400	143	9	24	42	9	24	42
B737-500	100	8	21	37	8	21	37
B737-800	174	10	23	44	10	23	44
B757-200	218	11	29	50	11	29	50
B767-300ER	240	14	38	72	14	38	72
B747-400	406	25	56	90	25	56	90
A319	126	10	26	46	10	26	46
A320	155	11	26	48	11	26	48
A321	166	13	31	52	13	31	52
ATR42	46	4	11	19	4	11	19
ATR72	64	5	14	25	5	14	25

All costs per minute, to nearest Euro

Table 2-44: Cost of strategic ground buffer minute: 1 minute unused at-gate

Aircraft and number of seats		based on 15 minutes' delay			based on 65 minutes' delay		
		cost scenario			cost scenario		
		low	base	high	low	base	high
B737-300	125	6	15	25	6	15	25
B737-400	143	7	17	28	7	17	28
B737-500	100	7	15	25	7	15	25
B737-800	174	9	18	30	9	18	30
B757-200	218	9	21	34	9	21	34
B767-300ER	240	12	27	48	12	27	48
B747-400	406	21	42	64	21	42	64
A319	126	8	19	31	8	19	31
A320	155	9	19	33	9	19	33
A321	166	11	23	37	11	23	37
ATR42	46	3	8	13	3	8	13
ATR72	64	4	10	16	4	10	16

All costs per minute, to nearest Euro

Annex II: Dades usades amb Minitab.

C1	C2	C3	C4	C5	C6
0 a 7 b=0	0 a 7 b=5	0 a 7 b=10	0 a 7 b=15	0 a 7 b=20	0 a 7 b=25
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	475,00 €
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	475,00 €
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	475,00 €
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	475,00 €
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	475,00 €
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	475,00 €
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	475,00 €
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	475,00 €
125,00 €	0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €
325,00 €	200,00 €	75,00 €	38,00 €	133,00 €	228,00 €
375,00 €	250,00 €	125,00 €	0,00 €	95,00 €	190,00 €

III.1. Quadre de costos per l'interval de 0:01 a 7:00 hores.

C7	C8	C9	C10	C11	C12
7 a 12 b=0	7 a 12 b=5	7 a 12 b=10	7 a 12 b=15	7 a 12 b=20	7 a 12 b=25
1.775,00 €	1.650,00 €	1.525,00 €	1.400,00 €	1.275,00 €	1.150,00 €
875,00 €	750,00 €	625,00 €	500,00 €	375,00 €	250,00 €
975,00 €	850,00 €	725,00 €	600,00 €	475,00 €	350,00 €
625,00 €	500,00 €	375,00 €	250,00 €	125,00 €	0,00 €
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	475,00 €
1.100,00 €	975,00 €	850,00 €	725,00 €	600,00 €	475,00 €
4.525,00 €	4.400,00 €	4.275,00 €	4.150,00 €	4.025,00 €	3.900,00 €
125,00 €	0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	475,00 €
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	475,00 €
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	475,00 €
1.825,00 €	1.700,00 €	1.575,00 €	1.450,00 €	1.325,00 €	1.200,00 €
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	475,00 €
50,00 €	57,00 €	152,00 €	247,00 €	342,00 €	437,00 €
350,00 €	225,00 €	100,00 €	19,00 €	114,00 €	209,00 €
500,00 €	375,00 €	250,00 €	125,00 €	0,00 €	95,00 €
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	475,00 €
200,00 €	75,00 €	38,00 €	133,00 €	228,00 €	323,00 €
250,00 €	125,00 €	0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €

III.2. Quadre parcial de costos per l'interval de 7:01 a 12:00 hores.

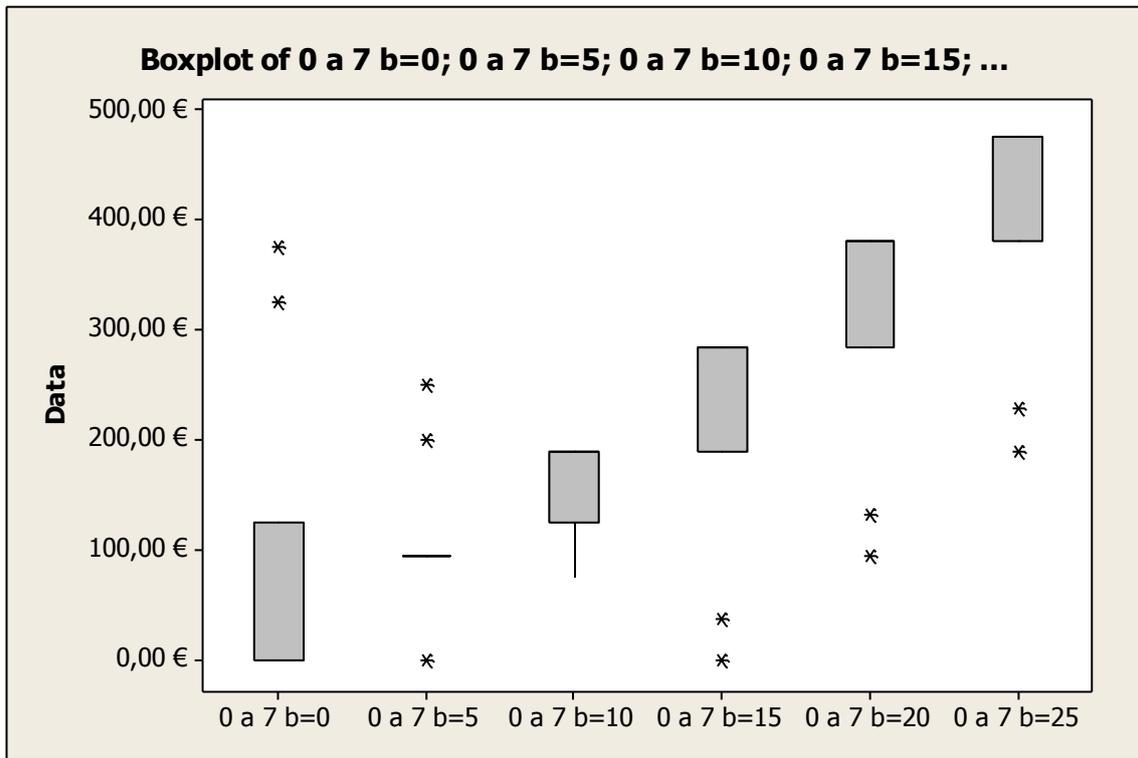
12 a 16 b=0	12 a 16 b=5	12 a 16 b=10	12 a 16 b=15	12 a 16 b=20	12 a 16 b=25
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	475,00 €
350,00 €	225,00 €	100,00 €	19,00 €	114,00 €	380,00 €
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	475,00 €
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	209,00 €
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	475,00 €
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	475,00 €
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	475,00 €
75,00 €	38,00 €	133,00 €	228,00 €	323,00 €	475,00 €
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	475,00 €
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	418,00 €
25,00 €	76,00 €	171,00 €	266,00 €	361,00 €	475,00 €
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	475,00 €
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	456,00 €
125,00 €	0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	475,00 €
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	475,00 €
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	380,00 €
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	475,00 €
850,00 €	725,00 €	600,00 €	475,00 €	350,00 €	475,00 €
200,00 €	75,00 €	38,00 €	133,00 €	228,00 €	475,00 €

III.3. Quadre parcial de costos per l'interval de 12:01 a 16:00 hores.

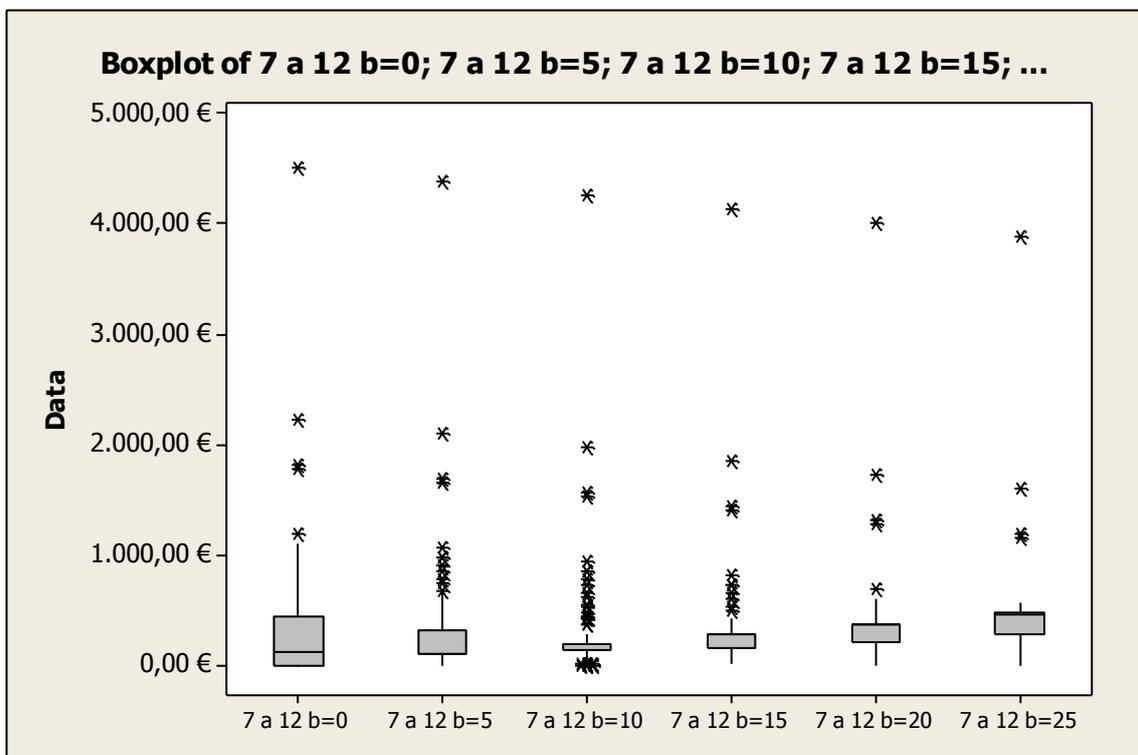
16 a 20 b=0	16 a 20 b=5	16 a 20 b=10	16 a 20 b=15	16 a 20 b=20	16 a 20 b=25
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	475,00 €
25,00 €	76,00 €	171,00 €	266,00 €	361,00 €	456,00 €
375,00 €	250,00 €	125,00 €	0,00 €	95,00 €	190,00 €
375,00 €	250,00 €	125,00 €	0,00 €	95,00 €	190,00 €
325,00 €	200,00 €	75,00 €	38,00 €	133,00 €	228,00 €
75,00 €	38,00 €	133,00 €	228,00 €	323,00 €	418,00 €
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	475,00 €
125,00 €	0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	475,00 €
25,00 €	76,00 €	171,00 €	266,00 €	361,00 €	456,00 €
50,00 €	57,00 €	152,00 €	247,00 €	342,00 €	437,00 €
50,00 €	57,00 €	152,00 €	247,00 €	342,00 €	437,00 €
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	475,00 €
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	475,00 €
0,00 €	95,00 €	190,00 €	285,00 €	380,00 €	475,00 €
1.950,00 €	1.725,00 €	1.500,00 €	1.175,00 €	1.250,00 €	1.225,00 €

III.4. Quadre parcial de costos per l'interval de 16:01 a 20:00 hores.

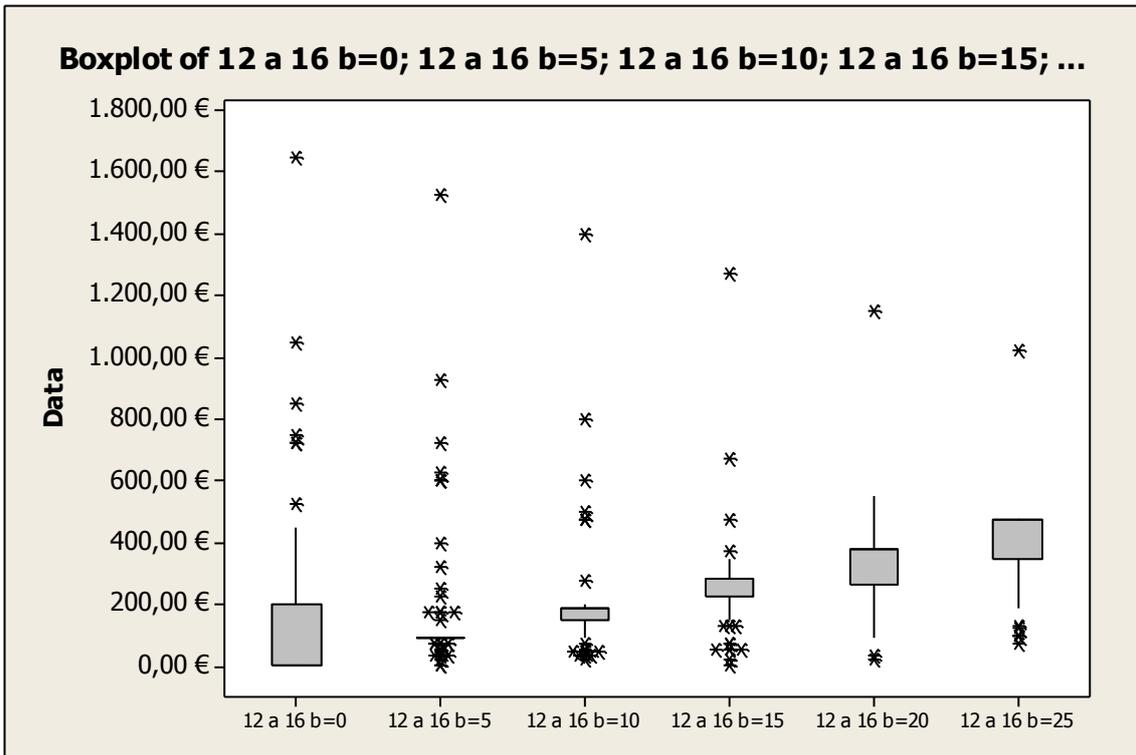
Annex III: Boxplots realitzats amb Minitab



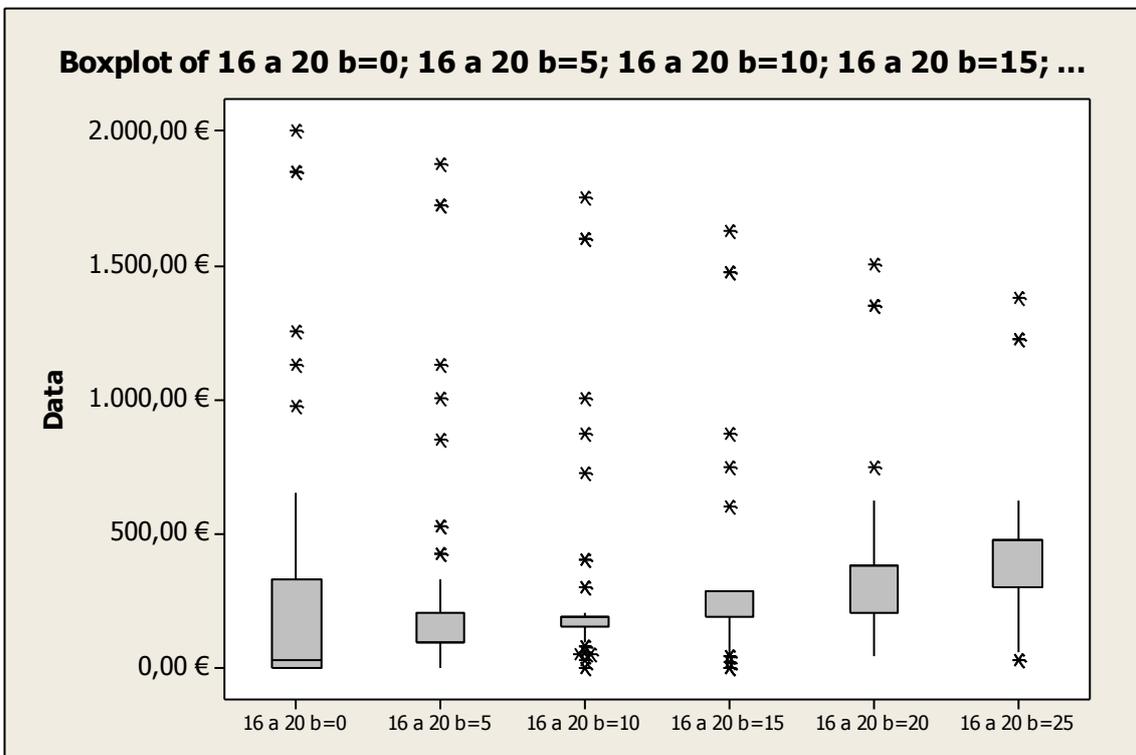
IV.1. Costos dels retards dels vols atesos entre les 0:01 i les 7:00 hores.



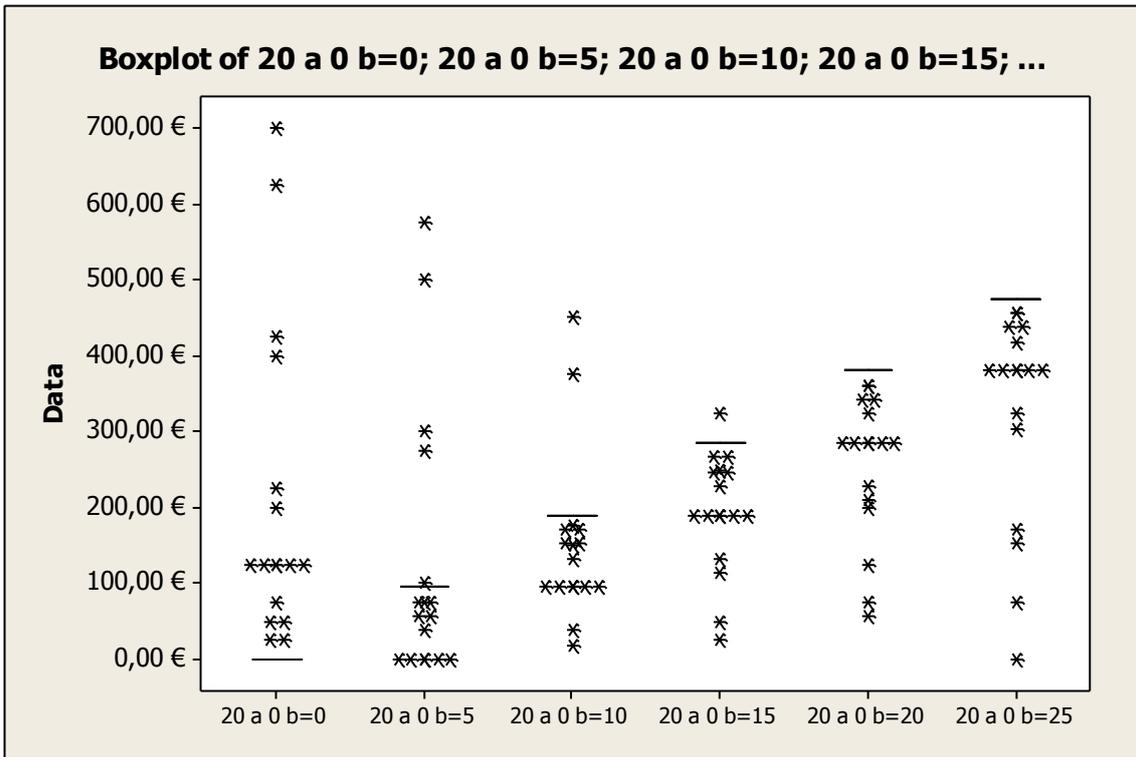
IV.2. Costos dels retards dels vols atesos entre les 7:01 i les 12:00 hores.



IV.3. Costos dels retards dels vols atesos entre les 12:01 i les 16:00 hores.



IV.4. Costos dels retards dels vols atesos entre les 16:01 i les 20:00 hores.



IV.5. Costos dels retards dels vols atesos entre les 20:01 i les 0:00 hores.

Annex IV: Dades numèriques usades amb Excel.

TIME DATA June 2012
 Airport: Barcelona (BCN/LEBL)

Cost per delay minute = 25 €
 Cost per extra minute = 19 €

Real Data Flightstats.com

Realistic Data

Airline	It	Arrival Time (Ta)			Maintenance Time (Tm)				Delay_Total	tr = td-tb
		tsa = E[Ta]	Ta	delay_A	tsm = E[Tm]	Tm	delay_M			
VY	1	0:10	0:00	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	0:40	
VY	2	0:25	0:10	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	0:50	
VY	3	1:00	0:46	0:00	0:40	0:38	0:00	0:00	1:24	
VY	4	1:45	0:46	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	1:26	
VY	5	1:45	1:37	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	2:17	
VY	6	2:05	1:39	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	2:19	
VY	7	2:10	1:55	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	2:35	
IB	8	5:35	5:26	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	6:06	
VY	9	6:40	6:40	0:00	0:40	0:45	0:05	0:05	7:25	
VY	10	7:00	7:05	0:05	0:40	0:48	0:08	0:13	7:53	
VY	11	7:00	7:05	0:05	0:40	0:50	0:10	0:15	7:55	
AA	12	7:10	8:11	1:01	0:40	0:50	0:10	1:11	9:01	
FR	13	7:25	7:13	0:00	0:40	1:15	0:35	0:35	8:28	
AC	14	7:35	8:04	0:29	0:40	0:50	0:10	0:39	8:54	
IB	15	7:55	8:20	0:25	0:40	0:40	0:00	0:25	9:00	
UX	16	7:55	7:45	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	8:25	
IB	17	7:55	8:20	0:25	0:40	0:59	0:19	0:44	9:19	
AB	18	8:00	10:46	2:46	0:40	0:55	0:15	3:01	11:41	
VY	19	8:05	8:03	0:00	0:40	0:45	0:05	0:05	8:48	
IB	20	8:10	8:06	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	8:46	
VY	21	8:15	8:10	0:00	0:40	0:38	0:00	0:00	8:48	
HV	22	8:15	7:59	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	8:39	
DL	23	8:20	9:28	1:08	0:40	0:45	0:05	1:13	10:13	
UX	24	8:20	8:08	0:00	0:40	0:38	0:00	0:00	8:46	
US	25	8:25	8:05	0:00	0:40	0:42	0:02	0:02	8:47	
VY	26	8:25	8:29	0:04	0:40	0:50	0:10	0:14	9:19	
VY	27	8:30	8:26	0:00	0:40	1:00	0:20	0:20	9:26	
VY	28	8:30	8:19	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	8:59	
VY	29	8:30	8:21	0:00	0:40	0:48	0:08	0:08	9:09	
LX	30	8:30	8:16	0:00	0:40	0:50	0:10	0:10	9:06	
IB	31	8:30	8:33	0:03	0:40	0:42	0:02	0:05	9:15	
YW	32	8:30	8:52	0:22	0:40	0:49	0:09	0:31	9:41	
SN	33	8:30	8:15	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	8:55	
AB	34	8:40	8:23	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	9:03	
FR	35	8:45	8:23	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	9:03	
AF	36	8:45	8:45	0:00	0:40	0:35	0:00	0:00	9:20	
VY	37	8:45	8:49	0:04	0:40	1:05	0:25	0:29	9:54	
YW	38	8:50	8:34	0:00	0:40	0:45	0:05	0:05	9:19	
IB	39	8:50	8:47	0:00	0:40	0:41	0:01	0:01	9:28	
VY	40	8:50	8:20	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	9:00	
VY	41	8:50	8:36	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	9:16	
SQ	42	8:55	8:37	0:00	0:40	0:38	0:00	0:00	9:15	
LX	43	9:00	9:03	0:03	0:40	0:55	0:15	0:18	9:58	
HV	44	9:05	8:45	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	9:25	
SQ	45	8:55	8:37	0:00	0:40	0:50	0:10	0:10	9:27	
LX	46	9:00	9:03	0:03	0:40	0:39	0:00	0:03	9:42	
HV	47	9:05	8:45	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	9:25	
OS	48	9:10	9:20	0:10	0:40	0:40	0:00	0:10	10:00	
VY	49	9:10	9:19	0:09	0:40	0:58	0:18	0:27	10:17	
UA	50	9:15	10:03	0:48	0:40	0:40	0:00	0:48	10:43	
VY	51	9:15	9:21	0:06	0:40	1:02	0:22	0:28	10:23	
IB	52	9:15	9:12	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	9:52	
AF	53	9:20	9:28	0:08	0:40	0:50	0:10	0:18	10:18	
VY	54	9:20	9:27	0:07	0:40	0:40	0:00	0:07	10:07	
FR	55	9:25	9:10	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	9:50	
AA	56	9:30	9:54	0:24	0:40	0:57	0:17	0:41	10:51	
VY	57	9:30	9:26	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	10:06	
VY	58	9:35	9:35	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	10:15	
DL	59	9:40	9:43	0:03	0:40	0:50	0:10	0:13	10:33	
IB	60	9:40	9:44	0:04	0:40	0:45	0:05	0:09	10:29	
FR	61	9:40	9:59	0:19	0:40	0:48	0:08	0:27	10:47	
LH	62	9:45	9:38	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	10:18	
FR	63	9:45	9:54	0:09	0:40	0:40	0:00	0:09	10:34	
VY	64	9:50	9:45	0:00	0:40	0:47	0:07	0:07	10:32	
DY	65	9:55	9:29	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	10:09	
DB	66	9:55	9:45	0:00	0:40	0:52	0:12	0:12	10:37	
VY	67	10:00	9:51	0:00	0:40	0:58	0:18	0:18	10:49	
TP	68	10:00	10:28	0:28	0:40	0:40	0:00	0:28	11:08	
FR	69	10:05	10:37	0:32	0:40	0:40	0:00	0:32	11:17	
KL	70	10:05	10:01	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	10:41	
VY	71	10:10	10:25	0:15	0:40	1:09	0:29	0:44	11:34	
EI	72	10:10	10:05	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	10:45	
FR	73	10:10	10:16	0:06	0:40	0:40	0:00	0:06	10:56	
BA	74	10:15	10:10	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	10:50	
FR	75	10:15	9:50	0:00	0:40	0:38	0:00	0:00	10:28	
VY	76	10:25	10:15	0:00	0:40	0:44	0:04	0:04	10:59	
IB	77	10:25	10:31	0:06	0:40	0:47	0:07	0:13	11:18	
FR	78	10:30	10:18	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	10:58	
FR	79	10:30	10:06	0:00	0:40	0:48	0:08	0:08	10:54	

VY	80	10:35	11:48	1:13	0:40	0:56	0:16	1:29	12:44
HG	81	10:40	10:49	0:09	0:40	0:40	0:00	0:09	11:29
VY	82	10:45	10:26	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	11:06
VY	83	10:45	10:38	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	11:18
UN	84	10:55	11:16	0:21	0:40	0:40	0:00	0:21	11:56
VY	85	10:55	10:57	0:02	0:40	0:54	0:14	0:16	11:51
AZ	86	10:55	10:35	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	11:15
IB	87	11:00	11:18	0:18	0:40	0:49	0:09	0:27	12:07
A3	88	11:00	11:04	0:04	0:40	0:40	0:00	0:04	11:44
VY	89	11:00	11:16	0:16	0:40	1:00	0:20	0:36	12:16
YW	90	11:00	10:56	0:00	0:40	0:39	0:00	0:00	11:35
VY	91	11:05	11:08	0:03	0:40	0:40	0:00	0:03	11:48
UX	92	11:05	10:48	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	11:28
VY	93	11:15	11:08	0:00	0:40	0:41	0:01	0:01	11:49
DY	94	11:15	10:54	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	11:34
SU	95	11:15	11:31	0:16	0:40	0:40	0:00	0:16	12:11
AF	96	11:15	11:31	0:16	0:40	0:40	0:00	0:16	12:11
VY	97	11:20	11:36	0:16	0:40	0:35	0:00	0:16	12:11
LH	98	11:20	11:09	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	11:49
AB	99	11:20	11:45	0:25	0:40	0:37	0:00	0:25	12:22
TK	100	11:25	11:18	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	11:58
UX	101	11:30	11:26	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	12:06
VY	102	11:30	11:19	0:00	0:40	0:30	0:00	0:00	11:49
BA	103	11:35	11:31	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	12:11
SK	104	11:35	11:24	0:00	0:40	0:37	0:00	0:00	12:01
LH	105	11:40	11:45	0:05	0:40	0:44	0:04	0:09	12:29
YW	106	11:40	11:40	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	12:20
VY	107	11:45	11:31	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	12:11
LH	108	11:50	11:57	0:07	0:40	0:40	0:00	0:07	12:37
IB	109	11:50	12:00	0:10	0:40	0:40	0:00	0:10	12:40
TP	110	11:50	11:54	0:04	0:40	0:38	0:00	0:04	12:32
VY	111	11:50	11:47	0:00	0:40	0:37	0:00	0:00	12:24
VY	112	11:50	11:45	0:00	0:40	0:38	0:00	0:00	12:23
SN	113	12:00	11:43	0:00	0:40	0:39	0:00	0:00	12:22
U6	114	12:00	12:05	0:05	0:40	0:40	0:00	0:05	12:45
FR	115	12:05	11:52	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	12:32
VY	116	12:10	12:22	0:12	0:40	0:42	0:02	0:14	13:04
VY	117	12:15	12:11	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	12:51
VY	118	12:15	12:04	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	12:44
VY	119	12:15	12:15	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	12:55
KL	120	12:15	12:11	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	12:51
CJ	121	12:20	12:00	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	12:40
BA	122	12:25	12:28	0:03	0:40	0:40	0:00	0:03	13:08
YW	123	12:25	12:21	0:00	0:40	0:38	0:00	0:00	12:59
SK	124	12:25	12:25	0:00	0:40	0:38	0:00	0:00	13:03
FR	125	12:30	12:24	0:00	0:40	0:41	0:01	0:01	13:05
LH	126	12:30	12:25	0:00	0:40	0:39	0:00	0:00	13:04
VY	127	12:40	12:39	0:00	0:40	0:37	0:00	0:00	13:16
VY	128	12:45	12:50	0:05	0:40	0:40	0:00	0:05	13:30
FR	129	12:50	12:36	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	13:16
LY	130	12:50	12:35	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	13:15
VY	131	12:55	12:44	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	13:24
IB	132	12:55	13:29	0:34	0:40	0:40	0:00	0:34	14:09
FR	133	13:00	13:08	0:08	0:40	0:40	0:00	0:08	13:48
UN	134	13:10	13:39	0:29	0:40	0:41	0:01	0:30	14:20
LG	135	13:20	13:16	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	13:56
FR	136	13:20	13:06	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	13:46
VY	137	13:20	13:05	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	13:45
FR	138	13:30	14:36	1:06	0:40	0:37	0:00	1:06	15:13
LH	139	13:35	13:27	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	14:07
AF	140	13:45	14:14	0:29	0:40	0:40	0:00	0:29	14:54
VY	141	13:45	13:42	0:00	0:40	0:37	0:00	0:00	14:19
FR	142	13:50	13:42	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	14:22
LX	143	14:00	13:58	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	14:38
LX	144	14:00	14:06	0:06	0:40	0:40	0:00	0:06	14:46
IB	145	14:00	14:00	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	14:40
VY	146	14:15	14:11	0:00	0:40	0:39	0:00	0:00	14:50
VY	147	14:15	14:30	0:15	0:40	0:40	0:00	0:15	15:10
LX	148	14:15	14:00	0:00	0:40	0:47	0:07	0:07	14:47
UX	149	14:15	14:27	0:12	0:40	0:40	0:00	0:12	15:07
VY	150	14:20	14:38	0:18	0:40	0:40	0:00	0:18	15:18
MS	151	14:20	14:32	0:12	0:40	0:40	0:00	0:12	15:12
VY	152	14:20	14:05	0:00	0:40	0:39	0:00	0:00	14:44
VY	153	14:20	14:08	0:00	0:40	0:37	0:00	0:00	14:45
FR	154	14:25	14:36	0:11	0:40	0:40	0:00	0:11	15:16
BA	155	14:25	14:15	0:00	0:40	0:41	0:01	0:01	14:56
VY	156	14:35	14:56	0:21	0:40	0:40	0:00	0:21	15:36
LO	157	14:35	14:28	0:00	0:40	0:43	0:03	0:03	15:11
AF	158	14:35	14:47	0:12	0:40	0:40	0:00	0:12	15:27
HV	159	14:35	14:20	0:00	0:40	0:37	0:00	0:00	14:57
FR	160	14:40	14:25	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	15:05
FR	161	14:45	14:21	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	15:01
VY	162	14:45	14:40	0:00	0:40	0:52	0:12	0:12	15:32
VY	163	14:45	14:42	0:00	0:40	0:48	0:08	0:08	15:30

AV	164	14:50	15:09	0:19	0:40	0:50	0:10	0:29	15:59
FR	165	14:55	14:47	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	15:27
IB	166	14:55	14:54	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	15:34
VY	167	15:00	15:08	0:08	0:40	0:38	0:00	0:08	15:46
VY	168	15:00	14:58	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	15:38
VY	169	15:00	14:53	0:00	0:40	0:39	0:00	0:00	15:32
FR	170	15:05	14:49	0:00	0:40	0:37	0:00	0:00	15:26
FR	171	15:10	14:39	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	15:19
AB	172	15:10	15:12	0:02	0:40	0:40	0:00	0:02	15:52
LH	173	15:15	15:18	0:03	0:40	0:40	0:00	0:03	15:58
FR	174	15:20	15:00	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	15:40
UX	175	15:25	15:26	0:01	0:40	0:40	0:00	0:01	16:06
VY	176	15:25	15:12	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	15:52
VY	177	15:30	15:12	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	15:52
FR	178	15:30	15:18	0:00	0:40	0:39	0:00	0:00	15:57
FR	179	15:40	15:33	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	16:13
VY	180	15:50	16:32	0:42	0:40	0:40	0:00	0:42	17:12
SU	181	15:55	15:56	0:01	0:40	0:37	0:00	0:01	16:33
AB	182	15:55	15:36	0:00	0:40	0:42	0:02	0:02	16:18
VY	183	15:55	15:48	0:00	0:40	0:45	0:05	0:05	16:33
IB	184	15:55	16:24	0:29	0:40	0:40	0:00	0:29	17:04
SN	185	16:10	16:05	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	16:45
VY	186	16:15	16:16	0:01	0:40	0:40	0:00	0:01	16:56
KL	187	16:15	16:30	0:15	0:40	0:40	0:00	0:15	17:10
YW	188	16:15	16:22	0:07	0:40	0:48	0:08	0:15	17:10
VY	189	16:20	16:33	0:13	0:40	0:40	0:00	0:13	17:13
VY	190	16:25	16:10	0:00	0:40	0:43	0:03	0:03	16:53
VY	191	16:25	16:23	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	17:03
UX	192	16:35	16:10	0:00	0:40	0:45	0:05	0:05	16:55
YS	193	16:35	16:27	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	17:07
VY	194	16:40	16:41	0:01	0:40	0:40	0:00	0:01	17:21
TK	195	16:40	16:29	0:00	0:40	0:42	0:02	0:02	17:11
VY	196	16:40	16:42	0:02	0:40	0:40	0:00	0:02	17:22
HG	197	16:50	16:43	0:00	0:40	0:38	0:00	0:00	17:21
SQ	198	16:55	16:40	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	17:20
DB	199	16:55	16:50	0:00	0:40	0:39	0:00	0:00	17:29
IB	200	16:55	17:44	0:49	0:40	1:05	0:25	1:14	18:49
FR	201	16:55	16:53	0:00	0:40	0:45	0:05	0:05	17:38
7K	202	17:05	17:22	0:17	0:40	0:45	0:05	0:22	18:07
FR	203	17:05	16:57	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	17:37
TP	204	17:10	17:45	0:35	0:40	0:50	0:10	0:45	18:35
AB	205	17:10	16:56	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	17:36
VY	206	17:10	17:34	0:24	0:40	0:55	0:15	0:39	18:29
OU	207	17:15	17:13	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	17:53
VY	208	17:15	17:02	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	17:42
UT	209	17:15	17:37	0:22	0:40	0:40	0:00	0:22	18:17
IB	210	17:25	17:32	0:07	0:40	0:46	0:06	0:13	18:18
AF	211	17:25	17:38	0:13	0:40	0:41	0:01	0:14	18:19
VY	212	17:25	17:31	0:06	0:40	0:52	0:12	0:18	18:23
LH	213	17:25	17:20	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	18:00
VY	214	17:40	17:24	0:00	0:40	0:42	0:02	0:02	18:06
FR	215	17:45	17:55	0:10	0:40	0:40	0:00	0:10	18:35
UX	216	17:50	17:22	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	18:02
VY	217	17:50	17:46	0:00	0:40	0:35	0:00	0:00	18:21
FR	218	17:50	17:51	0:01	0:40	0:40	0:00	0:01	18:31
FR	219	17:55	17:47	0:00	0:40	0:35	0:00	0:00	18:22
AZ	220	17:55	17:41	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	18:21
VY	221	17:55	18:12	0:17	0:40	0:37	0:00	0:17	18:49
IB	222	18:00	18:11	0:11	0:40	0:40	0:00	0:11	18:51
LH	223	18:05	18:12	0:07	0:40	0:40	0:00	0:07	18:52
VY	224	18:05	17:55	0:00	0:40	0:42	0:02	0:02	18:37
VY	225	18:10	18:06	0:00	0:40	0:45	0:05	0:05	18:51
VY	226	18:10	17:59	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	18:39
VY	227	18:25	19:40	1:15	0:40	0:45	0:05	1:20	20:25
BA	228	18:00	18:59	0:59	0:40	0:55	0:15	1:14	19:54
FR	229	18:30	18:44	0:14	0:40	0:52	0:12	0:26	19:36
AF	230	18:35	18:45	0:10	0:40	0:40	0:00	0:10	19:25
VY	231	18:55	15:33	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	16:13
KL	232	18:55	16:25	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	17:05
IB	233	19:05	18:48	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	19:28
LH	234	19:05	19:26	0:21	0:40	0:45	0:05	0:26	20:11
LX	235	19:05	18:52	0:00	0:40	0:45	0:05	0:05	19:37
AZ	236	19:10	19:03	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	19:43
VY	237	19:15	19:27	0:12	0:40	0:40	0:00	0:12	20:07
VY	238	19:15	19:03	0:00	0:40	0:41	0:01	0:01	19:44
VY	239	19:20	20:05	0:45	0:40	0:45	0:05	0:50	20:50
YW	240	19:20	19:14	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	19:54
FR	241	19:25	19:10	0:00	0:40	0:35	0:00	0:00	19:45
BA	242	19:25	19:37	0:12	0:40	0:40	0:00	0:12	20:17
YW	243	19:25	19:32	0:07	0:40	0:50	0:10	0:17	20:22
AF	244	19:30	19:23	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	20:03
LH	245	19:30	19:30	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	20:10
AB	246	19:35	19:30	0:00	0:40	0:35	0:00	0:00	20:05
IB	247	19:35	19:22	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	20:02

UX	248	19:40	19:23	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	20:03
OS	249	19:40	19:50	0:10	0:40	0:45	0:05	0:15	20:35
FR	250	19:40	19:34	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	20:14
LX	251	19:45	19:41	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	20:21
VY	252	19:55	19:55	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	20:35
VY	253	19:55	19:48	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	20:28
HV	254	19:55	19:44	0:00	0:40	0:38	0:00	0:00	20:22
BA	255	19:55	19:53	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	20:33
FR	256	19:55	19:52	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	20:32
VY	257	20:00	19:58	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	20:38
VY	258	20:00	19:47	0:00	0:40	0:37	0:00	0:00	20:24
FR	259	20:05	19:40	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	20:20
IB	260	20:05	20:01	0:00	0:40	0:45	0:05	0:05	20:46
VY	261	20:05	19:52	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	20:32
DY	262	20:10	19:51	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	20:31
VY	263	20:15	20:10	0:00	0:40	0:38	0:00	0:00	20:48
AY	264	20:20	20:05	0:00	0:40	0:34	0:00	0:00	20:39
FR	265	20:20	20:10	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	20:50
IB	266	20:25	20:23	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	21:03
YW	267	20:30	20:36	0:06	0:40	0:43	0:03	0:09	21:19
SN	268	20:35	20:15	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	20:55
VY	269	20:40	21:05	0:25	0:40	0:38	0:00	0:25	21:43
FR	270	20:40	20:40	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	21:20
AF	271	20:45	20:39	0:00	0:40	0:39	0:00	0:00	21:18
HV	272	20:55	20:55	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	21:35
VY	273	20:55	20:42	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	21:22
VY	274	21:05	20:47	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	21:27
FR	275	21:05	21:00	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	21:40
DY	276	21:10	21:10	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	21:50
VY	277	21:10	21:05	0:00	0:40	0:42	0:02	0:02	21:47
VY	278	21:15	21:10	0:00	0:40	0:45	0:05	0:05	21:55
DB	279	21:25	21:18	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	21:58
FR	280	21:25	20:48	0:00	0:40	0:35	0:00	0:00	21:23
LH	281	21:25	21:22	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	22:02
BA	282	21:30	21:29	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	22:09
FR	283	21:35	21:15	0:00	0:40	0:37	0:00	0:00	21:52
VY	284	21:40	22:00	0:20	0:40	0:48	0:08	0:28	22:48
FR	285	21:40	21:20	0:00	0:40	0:35	0:00	0:00	21:55
EI	286	21:55	21:54	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	22:34
VY	287	21:55	21:55	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	22:35
FR	288	21:55	21:30	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	22:10
VY	289	22:00	22:00	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	22:40
AF	290	22:00	21:51	0:00	0:40	0:39	0:00	0:00	22:30
VY	291	22:10	21:55	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	22:35
FR	292	22:15	22:15	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	22:55
VY	293	22:20	22:20	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	23:00
FR	294	22:25	22:15	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	22:55
LX	295	22:30	22:30	0:00	0:40	0:45	0:05	0:05	23:15
VY	296	22:30	22:25	0:00	0:40	0:45	0:05	0:05	23:10
OS	297	22:35	22:22	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	23:02
FR	298	22:35	22:05	0:00	0:40	0:39	0:00	0:00	22:44
VY	299	22:40	22:40	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	23:20
VY	300	22:40	22:40	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	23:20
KL	301	22:45	22:45	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	23:25
SU	302	22:45	23:01	0:16	0:40	0:40	0:00	0:16	23:41
FR	303	22:45	22:50	0:05	0:40	0:40	0:00	0:05	23:30
VY	304	22:50	22:50	0:00	0:40	0:45	0:05	0:05	23:35
VY	305	22:50	22:45	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	23:25
FR	306	22:50	22:50	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	23:30
VY	307	22:55	22:55	0:00	0:40	0:38	0:00	0:00	23:33
VY	308	22:55	22:55	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	23:35
VY	309	23:00	23:00	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	23:40
LH	310	23:05	23:05	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	23:45
FR	311	23:10	23:10	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	23:50
VY	312	23:15	23:15	0:00	0:40	0:42	0:02	0:02	23:57
VY	313	23:15	23:00	0:00	0:40	0:37	0:00	0:00	23:37
TP	314	23:20	23:20	0:00	0:40	0:39	0:00	0:00	23:59
FR	315	23:20	23:20	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	0:00
AZ	316	23:20	23:20	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	0:00
FR	317	23:30	23:30	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	0:10
YW	318	23:35	23:35	0:00	0:40	0:48	0:08	0:08	0:23
VY	319	23:35	23:35	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	0:15
VY	320	23:35	23:35	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	0:15
FR	321	23:40	23:40	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	0:20
TK	322	23:45	23:40	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	0:20
UX	323	23:50	23:30	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	0:10
FR	324	23:50	23:50	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	0:30
VY	325	23:50	23:50	0:00	0:40	0:40	0:00	0:00	0:30
VY	326	23:55	23:55	0:00	0:40	0:43	0:03	0:03	0:38
VY	327	23:55	23:55	0:00	0:40	0:57	0:17	0:17	0:52
VY	328	23:59	24:00:00	0:01	0:40	0:40	0:00	0:01	0:40
VY	329	23:59	24:00:00	0:01	0:40	0:40	0:00	0:01	0:40

