



Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i
Aeroespacial de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

SIMULACIÓN DE FLUJOS DE PASAJEROS Y AERONAVES EN EL AEROPUERTO DE BARCELONA-EL PRAT

**TÍTULO DEL TFC: SIMULACIÓN DE FLUJOS EN EL AEROPUERTO DE
BARCELONA-EL PRAT**

**TITULACIÓN: Enginyeria Tècnica Aeronàutica, especialitat
Aeronavegació**

**AUTORES: Dámaris Alba Arévalo
Víctor Rodríguez Muñoz**

**DIRECTORES: Jordi Mateu Mateu
Jordi Rubió Gil**

FECHA: 13 de desembre de 2012

Título: Simulación de flujos en el aeropuerto de Barcelona-El Prat

Autores: Dámaris Alba Arévalo

Víctor Rodríguez Muñoz

Directores: Jordi Mateu Mateu, Jordi Rubió Gil

Fecha: 12 de diciembre de 2012

Resumen

Un aeropuerto, y en especial uno grande como el Aeropuerto de Barcelona-El Prat, es una infraestructura extremadamente compleja que tiene que estar muy bien planificada para que pueda asumir su máximo potencial. La simulación permite encontrar sus virtudes y defectos de manera que se hagan evidentes en la planificación, o que se puedan realzar, o solucionar, una vez está operativa.

La principal ventaja de este trabajo es que el aeropuerto está funcionando, así que la interacción entre simulación y realidad puede ser bidireccional: la simulación se usa para comprender la realidad, y gracias a la toma de datos en condiciones reales la simulación puede ser dimensionada adecuadamente.

Antes de construir el modelo propiamente dicho, el aeropuerto ha sido analizado minuciosamente, y lo que deberían ser los datos devueltos por la simulación se han medido antes en la vida real para que coincidieran. Esto hizo que el trabajo se dividiera en dos grandes partes: movimientos de pasaje y movimientos de aeronaves. Son suficientemente diferentes como para poder separarlos en dos simulaciones distintas, pero están conectadas; algo que ocurra en la terminal de pasajeros puede afectar la escala del avión, y viceversa. Pero como la simulación de los movimientos de aeronaves está centrada en el rodaje y no en la escala, se hizo necesario separar ambas simulaciones para simplificarlas.

Los datos obtenidos con las simulaciones se han contrastado con los medidos *in situ*, para dimensionar y calibrar las simulaciones. Luego, se ha diseñado una interfaz para que sea posible entrar datos (por ejemplo, los de un plan de vuelos de un día particularmente intenso) y sacar resultados (por ejemplo, los puntos donde habrá más congestión) sin necesidad de tener conocimientos de programación.

Así, este trabajo, o la manera de hacerlo, puede ser útil en la gestión (o el diseño) de infraestructuras.

Title: Flux simulation in Barcelona-El Prat airport

Authors: Dámaris Alba Arévalo

Víctor Rodríguez Muñoz

Directors: Jordi Mateu Mateu, Jordi Rubió Gil

Date: December 12th, 2012

Overview

An airport, and especially a big airport such as Barcelona-El Prat Airport, is an utterly complex infrastructure that has to be perfectly understood and really well-planned so it can meet its full potential. Through simulation, its virtues and flaws can be traced so that they can become obvious in planning stages, and be enhanced (or solved) once it is operational.

The main advantage of this case study is that the airport is already operational, so there can be a two-way interaction between simulation and reality: simulation can be used to understand reality, and thanks to real-life data collecting the simulation can be more accurately dimensioned.

Prior to building the model itself, the airport has been thoroughly analyzed, and what was supposed to be the output data was first collected in real life so that it would match the results of the simulation. This led to dividing the work in two big areas: passenger movements and aircraft movements. Both are different enough to be separated in two simulations, yet they are connected so that something happening in the passenger terminal can affect aircraft turnaround, or vice versa. But as aircraft simulation was focused on taxiing in and out of the terminal and not on the turnaround itself, it became necessary to separate both simulations in order to simplify them.

Data collected from the simulations has been paired with the one obtained from real-life measurements, so that they could be calibrated and dimensioned according to these conditions. Then, an interface has been designed to make it possible to enter data (i.e. of a peak-day schedule) and get results (i.e., the places where congestion will occur) with no programming skills at all.

This work may thus be useful in the design or management of new or existing infrastructure.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. DESCRIPCIÓN FUNCIONAMIENTO TERMINAL 1	4
1.1. Aeropuerto de Barcelona-El Prat.....	4
1.2. Descripción Terminal 1	5
1.2.1. Nivel -1: SATE.....	5
1.2.2. Nivel 0: Vestíbulo intermodal	6
1.2.3. Nivel 1: La Plaça y Sky Centre.....	7
1.2.4. Nivel 2: Aduanas	8
1.2.4. Nivel 3: Salidas.....	9
1.3. Descripción movimiento de pasajeros.....	10
1.3.1. Salidas.....	11
1.3.2. Llegadas.....	20
1.3.3. Conexiones	20
1.4. Descripción movimientos aeronaves	20
1.4.1. Salida de un avión.....	21
1.4.2. Llegada de un avión	23
CAPÍTULO 2. TOMA DE DATOS	25
2.1 Movimientos de pasajeros.....	25
2.2. Movimientos de aeronaves	30
CAPÍTULO 3. SIMULACIÓN	32
3.1 Simulación de los movimientos de pasajeros	34
3.1.1 Lado Tierra.....	35
3.1.2 Lado aire	40
3.2 Simulación de los movimientos de aeronaves	43
3.3 Interfaz.....	46
3.4. Resultados.....	50
3.4.1. Movimientos de pasajeros.....	49
3.4.2. Movimientos de aeronaves	58
CAPÍTULO 4 .CONCLUSIONES	60
CAPÍTULO 5. BIBLIOGRAFÍA	61

INTRODUCCIÓN

Este documento contiene el trabajo llevado a cabo para la simulación de flujos en el aeropuerto de Barcelona-El Prat en el marco de un Trabajo de Final de Carrera.

El primer capítulo es un análisis teórico de la infraestructura desde la distancia, sin identificar puntos fuertes ni débiles, y aportando la máxima información posible sobre su funcionamiento.

Se pasa, después, a un análisis práctico en el segundo capítulo, con datos recogidos *in situ* o extraídos de un estudio más exhaustivo, con el objetivo de calibrar la simulación, que es el núcleo de este Trabajo.

En los capítulos tercero y cuarto se explica esta simulación: el software utilizado y las soluciones a las que se ha llegado para hacer un modelo lo más idéntico posible a la infraestructura real. Finalmente, ya en el capítulo cuarto, se detallan los resultados obtenidos con el programa, con gráficos explicativos que permiten ver los diferentes procesos desde una óptica más global y analítica.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Acuerdo de Schengen: Los países firmantes de este acuerdo entran en el Espacio Schengen, una zona que agrupa varios países pero donde no hay controles fronterizos dentro de ella.

Avión de fuselaje ancho: Avión con asientos distribuidos en filas de tres o más asientos separadas por dos pasillos.

Avión de fuselaje estrecho: Avión con asientos distribuidos en filas de tres o menos separadas por un sólo pasillo.

Calle de rodaje: Un camino definido sobre el cual los aviones pueden rodar de una parte a otra del aeropuerto [2].

Control de seguridad: Medio que evita la introducción de armas, explosivos o artículos susceptibles de ser utilizados para cometer actos de interferencia ilícita [1].

Equipaje: La propiedad personal de un pasajero, u otros artículos, transportados por él con motivo del viaje. Si no se especifica lo contrario, la palabra "equipaje" incluye equipaje facturado y equipaje no facturado o equipaje de mano [1].

Equipaje de mano: Equipaje que permanece bajo custodia del pasajero y es transportado en la cabina de pasajeros del avión durante todo el viaje [1].

Equipaje facturado: El equipaje para el cual se entrega una etiqueta identificativa por la que la compañía acepta responsabilidad de acuerdo con sus condiciones de transporte [1].

Escala: El conjunto de actividades asociadas con el handling de un avión que llega bajo un número de vuelo (llegada) y sale desde la misma posición de estacionamiento bajo otro número de vuelo (salida).

Finger: Pasarela extensible, accesible desde la terminal, que proporciona a los pasajeros acceso cubierto y seguro a un avión estacionado en la terminal.

Handling: Conjunto de servicios que se prestan a la aeronave mientras ésta está en tierra, especialmente cuando está estacionada en la terminal de un aeropuerto.

Jardinera: Autobús especialmente diseñado para el transporte de pasajeros, principalmente desde una puerta a una posición de estacionamiento en remoto.

Lado aire: El lado del aeropuerto con acceso a plataforma. Sólo los pasajeros que vayan a viajar y el personal acreditado tiene acceso al lado aire.

Pico: Periodo definido en el que ocurre la mayor actividad de tráfico en el aeropuerto o en la terminal.

Pista: Área rectangular definida en un aeropuerto preparada para el despegue, aterrizaje o rodaje de aeronaves.

Plan Director: Documento en el que los responsables del Aeropuerto de Barcelona reflejan sus intenciones para el futuro de la infraestructura a medio plazo.

Posición de estacionamiento: El área requerida en la rampa para estacionar, cargar, descargar o prestar otros servicios a una aeronave [1].

Posición de estacionamiento en remoto: Posición de estacionamiento situada suficientemente lejos de la terminal como para requerir transportar a los pasajeros mediante un autobús u otro medio de transporte [1].

Puerta: Punto de acceso a la rampa/avión desde la terminal, y viceversa.

Rampa o plataforma: Área pavimentada en el lado aire de la terminal donde se maniobran y aparcan los aviones y donde se practican actividades relacionadas con el handling [2].

Terminal: Un edificio o instalación, localizado entre la acera y la rampa, dentro del cual se procesan los pasajeros y el equipaje [1].

Vuelo nacional: Vuelo cuyo origen y destino están dentro de las fronteras de un mismo país.

Vuelo internacional: Vuelo cuyo origen y destino no están dentro de las fronteras de un mismo país.

CAPÍTULO 1. DESCRIPCIÓN FUNCIONAMIENTO TERMINAL 1

1.1. Aeropuerto de Barcelona-El Prat

En el Aeropuerto de Barcelona-El Prat existen dos terminales de pasajeros: la Terminal T2 y la Terminal T1.



Fig. 1.1: Aeropuerto de Barcelona-El Prat

Hasta hace unos años, la Terminal 2 del aeropuerto de Barcelona-El Prat era la principal base de operaciones aeronáuticas de Cataluña. El Plan Director de 1999 [3] contemplaba, con la construcción de un nuevo edificio terminal, relegarla a la operación de unas pocas compañías aéreas, como las low-cost Ryanair o EasyJet (no obstante, se planea hacer una remodelación en un futuro para poder así aumentar la capacidad de pasajeros en el aeropuerto).

El mayor volumen de pasajeros, operaciones y agentes de handling se concentra en la Terminal 1. Por lo tanto, este proyecto está focalizado en el análisis de flujos de esta nueva terminal.

Actualmente, la Terminal T1 del aeropuerto de Barcelona-El Prat es una de las mayores infraestructuras de Cataluña, siendo el aeropuerto más grande de Cataluña y el segundo aeropuerto más grande de España. Cada año pasan por él alrededor de 30 millones de pasajeros.

Aparte de ser un hito arquitectónico, la terminal T1 también es un centro de operaciones donde una media de 10.000 trabajadores (agentes handling, rampa, personal de mantenimiento, ingenieros...) trabajan coordinados para conseguir que el aeropuerto pueda llegar a realizar 90 operaciones a la hora, satisfaciendo así las necesidades de los pasajeros que pasan por ella.

1.2. Descripción Terminal 1

La Terminal 1 tiene una superficie total de 525.400m² y está dividida en 3 grandes zonas:



Fig.1.2: Vista aérea Terminal 1 Aeropuerto Barcelona –El Prat

La sección transversal, por su parte, está dividida en 5 niveles:

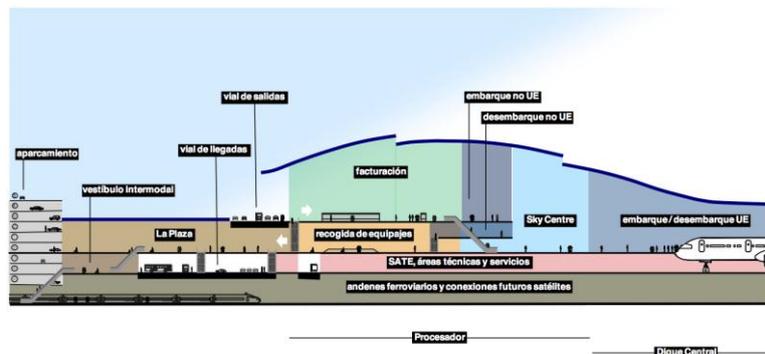


Fig.1.3: Vista transversal Terminal 1 Aeropuerto Barcelona –El Prat

La T1 dispone de dos viales que separan el flujo de llegadas del flujo de salidas. El vial de salidas se encuentra en el nivel 3, y el de llegadas, en el nivel 0.

1.2.1. Nivel -1: SATE

En este nivel hay un vial de servicios, donde sólo pueden circular los vehículos que se encargan de suministrar material para la Terminal 1.

Lo más importante de este nivel es que es aquí donde se encuentra el 90% de las instalaciones del SATE. El SATE de la Terminal 1 es una estructura muy importante. Fue lo primero que se diseñó de la Terminal 1 y partiendo de él se construyó toda la estructura que lo recubre.

El SATE tiene una longitud de 25 km: sus cintas transportadoras se extienden desde la planta 3, donde se facturan los equipajes, hasta la planta -1. En su recorrido por esta estructura, los equipajes facturados pueden llegar a pasar por 4 niveles de inspección de seguridad.

La capacidad del SATE es de unos 8.000 equipajes a la hora, y el tiempo mínimo que tarda una maleta desde que es facturada hasta que llega al hipódromo de salidas es de 4 minutos, en el caso de que pase favorablemente el primer nivel de inspección de seguridad.



Fig.1.4: SATE

1.2.2. Nivel 0: Vestíbulo intermodal

En el lado Tierra de la Terminal 1 se encuentra el vial de llegadas, por donde circulan transportes públicos, taxis y las lanzaderas del aeropuerto de Barcelona-El Prat que recogen los pasajeros que llegan a la terminal.

En el lado aire se encuentra el nivel de plataforma, destinado a la circulación de aeronaves, al mismo tiempo que los vehículos handling que se encargan de dar asistencia en tierra a estas aeronaves. También se encuentran los muelles de transferencia - conexión. En este nivel se encuentra la sala de control del SATE y el EBS, que es donde se almacenan todos aquellos equipajes facturados horas antes de la salida del vuelo correspondiente; tiene una capacidad de 1.200 equipajes a la hora. En plataforma también hay un flujo constante de pasajeros que bajan a este nivel para embarcar en un avión estacionado en remoto.

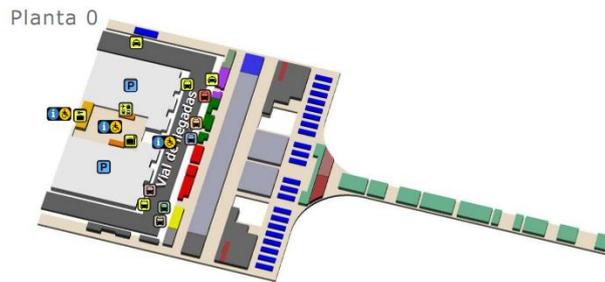


Fig. 1.4: Planta 0

1.2.3. Nivel 1: La Plaça y Sky Centre

Es el punto de espera para los acompañantes. También es el punto de unión entre el aparcamiento público exterior, el vestíbulo intermodal y el resto del edificio de la terminal. Cuenta con una amplia zona comercial y de restauración, el Sky Centre, para el público en general. Hay tiendas y restaurantes en zonas de acceso público y reservado a los pasajeros.

En el lado tierra, esta planta alberga la zona de llegadas, *La Plaça*, que cuenta con un vestíbulo intermodal con 14 mostradores de facturación y algunas oficinas para agencias de viajes.

Es en este nivel donde se encuentra la conexión entre el aparcamiento con la Terminal 1. Éste tiene una capacidad de 12.000 plazas, distribuidas en 12 plantas.

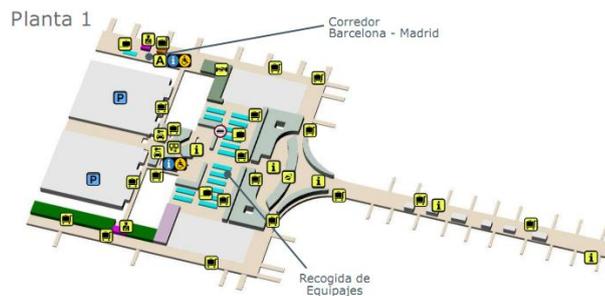


Fig. 1.5: Planta 1

En el lado Aire, entre la zona de embarque y el lado Tierra, se encuentran las aduanas, los hipódromos de llegada para la recogida de equipajes y también las consignas, las oficinas de objetos perdidos y varios puntos de información para la atención del pasajero. Las puertas no retorno separan la zona de recogidas de equipajes del Sky Centre y la zona de embarques.

Salidas corredor Barcelona-Madrid: el corredor Barcelona-Madrid (también llamado puente aéreo) también se encuentra en el nivel 1, en el dique Norte.

Facturación y embarque: existen tres zonas de embarque en esta planta: la zona A, la zona B y la zona C.

Las zonas A y C están situadas en el dique norte y son las que comprenden las zonas de embarque para el Corredor Barcelona-Madrid y los embarques UE Schengen/no UE Schengen y no UE/UE no Schengen. La Zona B está ubicada en el dique longitudinal y alberga los embarques y desembarques UE Schengen. Es en esta zona donde se encuentra el mayor flujo de pasajeros que embarcan a la aeronave por finger y remoto.

1.2.4. Nivel 2: Aduanas

Aquí se encuentran los servicios de aduanas y tres controles de pasaportes, dos salas VIP (UE y no UE) y un servicio médico.

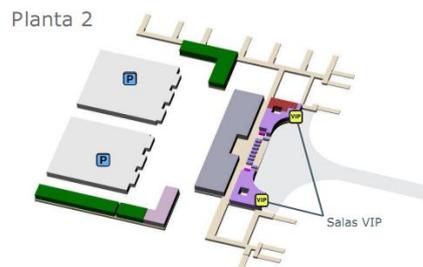


Fig.1.6: Planta 2

Las posiciones de embarque que se encuentran en este nivel son de estacionamiento polivalente; tienen la función de separar los flujos de pasajeros Schengen de los no Schengen. Cuando un mismo avión que proviene de un origen no Schengen realiza una escala en el aeropuerto de Barcelona-El Prat y su próximo destino es Schengen o viceversa, mediante este tipo de estacionamientos se puede separar el flujo de las distintas clases de pasajeros sin tener que desplazar la aeronave a otro punto de estacionamiento de la Terminal 1.



Fig.1.7: Estacionamiento Polivalente

1.2.5. Nivel 3: Salidas

En el lado Tierra de este nivel se encuentra el vial de salidas, por donde circulan los transportes, públicos y privados, que transportan a los pasajeros a la Terminal 1.



Fig.1.8: Planta 3

Zona de facturación: es aquí donde hay el mayor número de mostradores de facturación de la Terminal T1. En total hay 168 mostradores en la parte sur, 112 en la parte norte y 4 mostradores para equipajes especiales. También se pueden adquirir billetes de algunas compañías aéreas.

Control de Seguridad: separa el lado aire del lado tierra, y sólo pueden acceder a él aquellos pasajeros que estén facturados y lleven la tarjeta de embarque, personal que trabaje en el lado aire o personal que no trabaje en el aeropuerto pero esté autorizado e identificado. En total hay 9 filtros de seguridad.

En el lado aire, se accede a las zonas de embarque D y E, que están en el dique sur, tras pasar por un filtro de seguridad, ya que se trata siempre de embarques no UE/UE no Schengen. También hay dos mostradores de Información de Aena y uno para Personas con Movilidad Reducida (PMR).

En el despacho de la Guardia Civil, cercano a las oficinas de los Mossos d'Esquadra y la Policía Nacional, está el Control de Intervención de Armas.

1.3. Descripción movimiento de pasajeros

Desde el momento en que el viajero decide que tiene que volar hasta que llega a su destino, tiene que pasar por diferentes fases. Sin embargo, es cuando reserva un billete de avión cuando se convierte en pasajero.

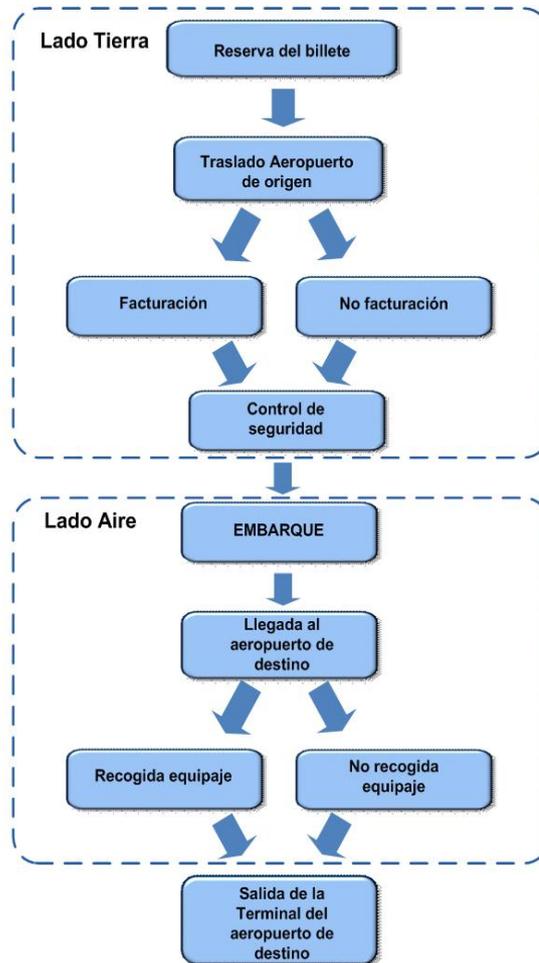


Fig.1.9: Diagrama movimiento de pasajeros

El día solicitado para viajar, este pasajero se traslada al aeropuerto de origen. Lo puede hacer de diferentes formas: autocar, tren, autobús, taxi, etcétera. Nada más llegar, este pasajero deberá facturar su equipaje en el que caso que lo desee o sea necesario porque no cumpla las reglas básicas de equipaje de mano. Después de esta primera fase, el pasajero tendrá que pasar por los controles de seguridad. Una vez lo haga, se encontrará en el lado aire del aeropuerto de origen y estará listo para el embarque.

Una vez finalizado el vuelo, el pasajero llegara al aeropuerto de destino. Allí recogerá las maletas en el caso de haberlas facturado, y pasará el control de aduanas saliendo al lado tierra del aeropuerto de destino. En este instante habrá finalizado su viaje.

Por lo tanto podemos distinguir entre 8 fases importantes por las que el pasajero pasara durante su viaje en una aeronave:

No obstante, hay una clase de pasajeros denominados *pasajeros en conexión o en tránsito*: aquellos pasajeros que tienen que realizar una transferencia en otro aeropuerto para llegar al aeropuerto de destino final.

1.3.1. Salidas

El término “salida” comprende todas las fases por las que ha de pasar un pasajero desde que reserva el billete hasta que embarca en su vuelo.

Todos los pasajeros que vayan a hacer un viaje en avión tendrán que pasar por el control de seguridad. Después de pasar este control, el flujo de pasajeros de salidas se dividirá en dos grandes grupos de pasajeros: Schengen y no Schengen.

Los pasajeros no Schengen tendrán que pasar un segundo control, el de pasaportes, para poder embarcar en la aeronave.

A continuación se muestra un diagrama donde se describe el orden de las diferentes etapas a realizar por un pasajero de salida.



Fig.1.10: Diagrama salidas

1.3.1.1 Reserva de billetes

Los billetes se pueden comprar mediante una agencia de viajes o por Internet. Una vez comprado el billete, el titular obtiene un localizador y se convierte en pasajero. Todas las personas que quieran viajar utilizando como medio de transporte el avión deberán reservar y comprar un billete con antelación a la salida del vuelo para poder volar.

Algunos operadores dan la posibilidad de facturar vuelos nacionales o UE Schengen vía Internet hasta 15 días antes de la salida del vuelo. Así, el pasajero puede obtener su tarjeta de embarque vía online o móvil. En caso de sólo llevar equipaje de mano, el pasajero podrá ir directamente al control de seguridad sin pasar por los mostradores de facturación.

En el instante que un pasajero es facturado, a esta persona se le asigna un número de asiento o un bn (boarding number) , según la compañía con la que vuela, que es lo que permite la entrada del pasajero a la aeronave.

Todas las tarjetas de embarque, ya sean obtenidas mediante el proceso de facturación u online, deben contener los siguientes datos:

- Número de vuelo
- Nombre y apellidos del pasajero
- Asiento o acomodación asignado (en el caso de que no sea “free seating”)
- Puerta de embarque donde debe dirigirse
- Hora de embarque

1.3.1.1. Traslado Aeropuerto de Barcelona-El Prat

A la Terminal T1 se puede acceder por distintas vías. A continuación se muestra una tabla con los diferentes modos de transporte presentes, utilizados tanto por pasajeros como empleados.

Modo		Pasajeros	Trabajadores
A pie			X
Bicicleta		X	X
Vehículo privado	Moto	X	X
	Coche	X	X
	Alquiler	X	
Taxi	Metropolitano	X	
	Concertado	X	
	Otros(resto de Catalunya)	X	
Microbús	Hoteles	X	
	Tripulaciones		X
	Discrecionales	X	
Autobús Autocar	Regular	X	X
	Discrecional	X	
	Empresa		X
Ferrocarril		X	X

Tabla 1.1: Modos de transporte

1.3.1.2. Facturación

Una vez el pasajero ha llegado a la Terminal 1, deberá dirigirse a la zona de facturación, situada en la planta 3.

La facturación es un proceso que va cambiando debido a la implantación de nuevas tecnologías y programas. En la actualidad, en la Terminal T1 la facturación puede ser:

- Auto check- in online.

Los pasajeros que hayan facturado online y ya tengan su tarjeta de embarque, bien impresa o bien en el móvil, y que no tengan que facturar equipaje, podrán dirigirse directamente a los controles de seguridad para poder pasar al lado aire y así poder embarcar.

En el caso en que el pasajero haya facturado online, pero tenga que facturar equipaje, deberá dirigirse a alguno de los mostradores de facturación de la compañía con la que viaja por lo menos 45 minutos antes de la salida del vuelo para poder facturar su equipaje.

Existe la posibilidad de que la compañía con la que viaja disponga en la terminal de máquinas de auto check-in. Así, el pasajero podrá imprimirse las etiquetas del equipaje que desea facturar en estas máquinas y presentar el

equipaje en algún punto de entrega de equipajes (fast drop bag), para poder introducirlo en el SATE, tras lo cual ya podrá ir al control de seguridad.

- Máquinas auto check-in

Actualmente las compañías American Airlines, British Airways, Iberia y Lufthansa de máquinas de auto check-in a lo largo de todo el vestíbulo. La facturación mediante máquinas auto check-in es un proceso rápido y sencillo y en pocos minutos el pasajero obtiene su tarjeta de embarque.

En el caso en que el pasajero tenga que facturar equipaje deberá imprimir también las etiquetas del equipaje (LPC) en las máquinas de auto check-in, y dirigirse al menos unos 45 minutos antes de la salida del vuelo a algunos mostradores de facturación que la compañía aérea pondrá en servicio o a los puntos de entrega de equipaje (fast bag drop) para poder introducir el equipaje facturado en el SATE.

Si el pasajero no tiene que facturar equipaje, podrá ir directamente al control de seguridad con su tarjeta impresa en las máquinas.

- Facturación tradicional

Es la primera que se empezó a utilizar y actualmente ha disminuido el número de pasajeros que la utilizan, debido a los cada vez más frecuentes sistemas de facturación automáticos.

La facturación clásica o tradicional es un tipo de facturación en el que el pasajero se dirige a un mostrador de facturación y se pone en contacto directo con un agente de pasaje de la compañía (o subcontratado por esta) con la que ha reservado su billete. Este agente realiza todos los trámites relacionados para que el pasajero pueda obtener su tarjeta de embarque y pueda facturar sus maletas si lleva equipaje para facturar.

La Terminal 1 cuenta con 144 mostradores de facturación en el edificio procesador, repartidos en seis isletas, cada una de las cuales agrupa los mostradores 200, 300, 400, 500, 600 y 700.

A la llegada a la zona de facturación de la Terminal 1, el pasajero deberá comprobar en los monitores o paneles informativos cuál es el mostrador de facturación asignado a su compañía y vuelo. Siempre teniendo en cuenta la hora límite de aceptación en el vuelo indicada en el billete, el pasajero deberá dirigirse a los mostradores de facturación que se le han sido asignados, donde se facturará el equipaje, si lo hay, y se entregará al viajero la correspondiente tarjeta de embarque. Desde este momento se entiende aceptado como pasajero en el avión. La compañía aérea puede rechazar la aceptación de un pasajero si no acude al mostrador de facturación dentro de la hora fijada en el billete.

Los mostradores de facturación son alquilados por las compañías aéreas a Aena. Existen una serie de tarifas dependiendo del tipo de mostrador que se alquile y del periodo de alquiler.

Las compañías aéreas pueden realizar dos tipos de facturación tradicional en la Terminal 1:

Facturación dedicada, en la que un vuelo de una compañía aérea sólo es facturado en un mostrador asignado únicamente para ese vuelo. En este caso como norma general y para vuelos nacionales y shengen el mostrador se abrirá 2 horas antes de la salida del vuelo, y se deberá facturar por los menos aproximadamente 30 minutos antes de la partida prevista del vuelo, aunque este intervalo de tiempo puede variar según el protocolo de la compañía aérea con la que se contrate el vuelo. Por lo tanto, el tiempo que tendrán los agentes de pasaje para facturar a todos los pasajeros que vayan en ese vuelo y se presenten en el mostrador de facturación para obtener su tarjeta de embarque y facturar su equipaje será de aproximadamente de 1 hora y 30 minutos. Dependiendo del número de mostradores que se le asigne a un vuelo será viable facturarlo en un intervalo de tiempo o en otro.

En el caso de vuelos con destinos no UE, se debe facturar por lo menos 60 minutos antes de la salida del vuelo. La hora de apertura del mostrador variará en función de la compañía aérea que el pasajero haya contratado para realizar su vuelo.

Facturación simultánea, en la que todos los vuelos de una compañía aérea pueden ser facturados en un mismo mostrador de facturación. Así, un pasajero puede facturar varias horas antes de la salida del vuelo. Este tipo de facturación disminuye los tiempos de espera del pasajero.

El proceso de facturación no es especialmente complejo. El agente de pasaje ha sido formado para seguir una serie de procedimientos y actuaciones, por lo que la facturación de un pasajero es algo mecánico y simple.

Antes de abrir la facturación de un vuelo, los agentes de handling que estén asignados para dicha facturación deben traer al mostrador de facturación todo el material propio de la compañía aérea del vuelo que vayan a facturar: tarjetas de embarque, etiquetas para la facturación del equipaje... cada compañía dispone de un material específico para el proceso de facturación y de unas normas respecto al peso máximo que cada pasajero puede facturar.



Fig. 1.11: Facturación Tradicional Terminal 1

Los PC de los mostradores de facturación utilizan diferente software, que puede ser propio de la compañía o cedido por Aena, como es el caso de UCA. Aunque todos estos software tengan diferentes interfaces, lenguajes y comandos, poseen un patrón similar de uso.

Para empezar a facturar un vuelo, el agente de handling asignado debe iniciar el software, identificarse e introducir el número de vuelo que va a facturar. Con estos datos, se carga directamente la lista de pasajeros que han comprado un billete en ese vuelo, y aparece toda la información relacionada con ese vuelo. Esa información suele ser la ETD del vuelo (para poder saber si hay un retraso) y el pasaje especial que pueda haber (menores no acompañados, personas con movilidad reducida).

Al llegar el pasajero al mostrador de facturación, lo primero que debe hacer es identificarse mediante el NIF o pasaporte, que el agente handling introduce en el sistema de facturación para verificar que esta persona está en la lista de pasajeros.

A partir de este momento, el agente handling le hace una serie de preguntas de protocolo al pasajero sobre el equipaje que desea facturar o el equipaje de mano que va a subir al avión, y coloca el equipaje (si es el caso) en la báscula para poder pesarlo y comprobar que este que no excede la normativa de la compañía ni en número de bultos ni en peso.

Cada compañía aérea tiene unas normas respecto al número de bultos y peso de equipaje por pasajero que se va a facturar, pero como norma general, jamás un bulto puede exceder de 32 kg. Si el que el equipaje no cumple con las reglas de la compañía y el aeropuerto, el pasajero no podrá facturar el equipaje: si el equipaje del pasajero sobrepasa el número de kg que estipula la compañía aérea con la que viaja, tendrá que realizar un abono adicional si quiere facturar su equipaje.

El agente de handling introduce en el sistema operativo el número de bultos y kg que factura cada pasajero, de vital importancia para realizar la hoja de carga de la aeronave, que es el documento que certifica que ésta no sobrepasa los límites estructurales de peso y centrado del mismo. Luego, imprime la tarjeta de embarque y las etiquetas del equipaje que se va a facturar. Coloca en las maletas las etiquetas que ha impreso de forma visible y en ese instante la maleta queda identificada.

La etiqueta contiene el nombre del pasajero, itinerario, código de escala y número de vuelo; es el documento de identidad del equipaje. El recibo de la etiqueta se adjunta al cupón de vuelo, que servirá como identificación a la llegada.

Después, el agente handling le da al pasajero su tarjeta de embarque, que contiene, entre otros, nombre y apellidos del pasajero, número de vuelo y, en la mayoría de los casos, asiento asignado, e introduce el equipaje en el SATE, mediante las cintas transportadoras. Actualmente todas las tarjetas de embarque contienen un código de barras en el cual está plasmada toda esta información para que puedan ser leídas automáticamente.

En vuelos internacionales hay que completar, además, una serie de información adicional sobre el pasajero, por lo que la facturación es más larga.

También se puede dar el caso de que el pasajero que llegue al mostrador de facturación sea un pasajero en conexión. Si el sistema lo permite o realiza la escala con la misma compañía con la que realiza el vuelo de origen, se le podrá imprimir la tarjeta de embarque del segundo vuelo y las maletas serán identificadas como maletas en conexión. Esto permitirá que, al llegar al aeropuerto donde realice la escala, el pasajero no tenga que recoger las maletas y volver a pasar el proceso de facturación; sólo tendrá que acudir a la puerta de embarque y presentar la segunda tarjeta de embarque que le han dado en el aeropuerto de origen. El equipaje facturado lo podrá recoger en el destino final de su trayecto.

1.3.1.3. Controles de seguridad. División flujos Sch./no Sch

Una vez el pasajero ha obtenido su tarjeta de embarque, puede dirigirse a los diferentes controles de seguridad de la Terminal T1. Son tres:

- Zona de salidas (planta 3)

Hay nueve filtros de seguridad con una configuración de arco de pasajeros entre dos escáneres para el equipaje de mano. Existe, además, un filtro exclusivo para empleados, tripulaciones y personas de movilidad reducida.

- Corredor aéreo Barcelona-Madrid

Están en el dique Norte (planta 1), donde sólo hay dos filtros con una configuración de arco de pasajeros entre dos escáneres para el equipaje.

Vuelos regionales

Están en el dique Sur (planta 1). También hay dos filtros, pero con una configuración de arco de pasajeros y un escáner.

Sólo podrán atravesar el control de seguridad aquellos pasajeros que estén facturados y tengan la tarjeta de embarque y personal que trabaje en el aeropuerto o personal que no trabaje en el aeropuerto pero esté autorizado e identificado.

Nada más llegar a los filtros de seguridad, una persona autorizada de seguridad le hará al pasajero mostrar su tarjeta de embarque, requisito indispensable para poder pasar al lado aire y embarcar en su vuelo.

A la hora de pasar el filtro de seguridad hay que tener en cuenta las limitaciones relativas al equipaje de mano, especialmente a líquidos y artículos prohibidos.

Para agilizar el paso por el filtro de seguridad se recomienda depositar equipaje de mano, chaquetas o abrigos, líquidos, ordenadores y otros artículos metálicos en las bandejas para pasarlos por el escáner de equipaje.



Figura 1.12: Control Seguridad Terminal 1

Los vuelos se clasifican, según origen o destino, en tres grupos: Schengen, UE No Schengen y Terceros países o No UE

Schengen

Vuelos con origen o destino en países firmantes del Acuerdo Schengen. Los ciudadanos de estos países pueden cruzar libremente las fronteras interiores. Los vuelos nacionales tienen carácter Schengen.

No Schengen UE

Vuelos con origen o destino en países pertenecientes a la Unión Europea no adscritos al acuerdo Schengen. No existe libre circulación de personas.

No UE o Terceros Países

Vuelos con origen o destino a países no pertenecientes a la Unión Europea y no adscritos al acuerdo Schengen.

El recorrido de estos pasajeros por la Terminal 1 varía según al destino donde vayan a volar.

La Terminal 1 presenta una arquitectura funcional en la cual el número de niveles o la división del edificio terminal por flujos dependen de más factores que los puramente operativos, como son las aéreas comerciales, ya que estos ingresos no aeronáuticos representan un alto porcentaje de los ingresos aeroportuarios.

En el diseño de la Terminal 1 se ha tenido en cuenta este factor y las normas de emigración/inmigración correspondientes en cuanto a flujos, por lo cual la terminal presenta dos niveles. El número de niveles de los que debe constar un edificio terminal va en función de:

- Número de pasajeros que esté destinado a servir el aeropuerto
- Tipo de pasajeros (Schengen, No Schengen e internacional)
- Previsiones futuras de ampliación

En el lado Aire de la terminal se accede a las zonas de embarque D y E, que están en el Dique Sur y comprenden embarques regionales y UE Schengen. Hay un filtro de seguridad y controles de pasaportes antes de llegar a estas zonas de embarque. Hay, además, dos mostradores de Información de Aena y uno para PMR.

El Control de Intervención de Armas está en el despacho de la Guardia Civil, cercano a las oficinas de los Mossos d'Esquadra y la Policía Nacional.

1.3.1.4. Acceso a la Aeronave Finger/Remoto

La terminal T1 del Aeropuerto de Barcelona-El Prat está diseñado de manera que los embarques en finger y en remoto pueden hacerse desde el mismo sitio. Las puertas de embarque están distribuidas en grupos de dos, de manera que una de ellas da acceso al finger correspondiente y la otra a una escalera de caracol que conduce los pasajeros hacia la jardinera, en caso que el avión esté estacionado en remoto.

La única particularidad que cabe reseñar aquí es que, en caso de embarcar en remoto, los pasajeros con movilidad reducida tienen que bajar a plataforma por medio de un ascensor.

1.3.1.5. Embarque

Para embarcar, el pasajero debe llevar consigo la tarjeta de embarque y un documento de identificación. Cuando el avión está listo para embarcar, los agentes handling situados en los mostradores de las puertas de embarque pasan las tarjetas por una máquina lectora conectada al ordenador donde se carga la lista de pasajeros. Generalmente, se espera hasta 10 minutos antes de la hora programada de salida para cerrar la puerta de embarque en caso de que falte algún pasajero, aunque eso puede cambiar dependiendo de las circunstancias del vuelo. Si falta algún pasajero que ha facturado equipaje, éste no puede volar, por lo que hay que buscarlo en el avión y descargarlo. Esta circunstancia hace que la hora de cierre de la puerta de embarque varíe.

Los agentes handling encargados del embarque también son responsables de etiquetar el equipaje de mano que incumpla las reglas impuestas por la compañía, para que pueda ser bajado a la bodega del avión.

En un embarque en finger los pasajeros bajan directamente al avión por la pasarela, mientras que en remoto hay una jardinera o autobús que los transporta a la aeronave. Esto es relevante, ya que la disponibilidad de jardineras es limitada y tardan cierto tiempo en llegar al avión, por lo que es absolutamente necesario cerrar la puerta de embarque diez minutos antes de la hora programada de salida.

1.3.2. Llegadas

La llegada es un proceso mucho más simple que la salida. Aquí, no es necesario ni facturar ni pasar por un filtro de seguridad. La única formalidad que ha de efectuar un pasajero que llega al aeropuerto es sellar su pasaporte, en caso que venga con un vuelo no Schengen, y pasar por la aduana si lleva consigo algo que declarar.

1.3.2.1. Llegadas Schengen

Al llegar el avión (finger) el pasajero sale a la planta 1 de la terminal. Ahí, se dirige, a través de unas puertas de no retorno, a los hipódromos de recogida de equipajes, donde recoge el suyo, si lleva, y sale al vestíbulo de llegadas. En las llegadas en remoto, una jardinera transporta a los pasajeros a un vestíbulo en el nivel 0, desde donde se sube al nivel 1 para hacer el resto del recorrido.

1.3.2.2. Llegadas no Schengen

Las única particularidad de las llegadas no Schengen con respecto a las nacionales o Schengen consiste en que los pasajeros que llegan al aeropuerto cruzan una aduana, bien en el nivel 2 (finger) o en el nivel 0 (remoto), antes de salir a la misma zona que los pasajeros que vienen de un destino Schengen.

1.3.3. Conexiones

Los pasajeros en conexión son aquellos que han contratado un vuelo a un destino vía otro sitio. En ese caso, en el aeropuerto de salida reciben las dos, o más, tarjetas de embarque necesarias para completar su viaje. Los movimientos que han de hacer estos pasajeros una vez llegados al aeropuerto de Barcelona-El Prat consiste en alcanzar la zona de puertas correspondiente al próximo vuelo sin salir al lado aire, bien pasando o sin pasar aduana o control de pasaportes.

1.4. Descripción movimientos aeronaves

El aeropuerto de Barcelona-El Prat tiene tres pistas de aterrizaje: 07L/25R, 07R/25L (también conocida como “tercera pista”), y 02/20 (o “pista transversal”). Las tres tienen una longitud superior a los 2.500 metros; la más larga, la 07L/25R, mide 3.352 metros. En la configuración preferente (Oeste pistas paralelas), las llegadas se hacen por la 25R y las salidas por la 25L o la 25R¹. La pista 02/20 se utiliza sólo en configuración nocturna (entre las 2300 y las 0700), por cuestiones de ruido. En total, en la 07L/25R hay 12 calles de salida rápida (seis en cada sentido), mientras que la 07R/25L tiene 6 (3 en cada sentido). La pista transversal no tiene ninguna; las aeronaves que la utilizan deben tomar las calles de rodaje al final de la pista. La 07L/25R tiene

¹ La pista 25R se reserva para las aeronaves que puedan justificar que necesitan más longitud de despegue. En la configuración Este pistas paralelas se da el mismo caso con la 07L.

dos calles de rodaje paralelas al sur, mientras que la tercera pista tiene una al norte y una segunda que da acceso a los puestos de estacionamiento del dique sur. También hay dos calles de rodaje norte-sur que aseguran la comunicación entre ambos lados de la terminal. Hay que destacar que la anchura de las calles de rodaje este-oeste es diferente, por lo que algunos aviones tienen prohibido el acceso a las más estrechas. En el lado norte hay 9² puertas para acceder a estos puestos desde las calles de rodaje, mientras que en el lado sur hay 6³.

Ésta cuenta con un total de 77 puestos de estacionamiento para aeronaves, divididos en *rampas*. Están repartidos por el dique norte, que acoge el puente aéreo Barcelona-Madrid (operado por Iberia) y los vuelos internacionales no Schengen, la espada, donde se embarcan los vuelos nacionales no- puente aéreo e internacionales Schengen, y el dique sur, reservado a vuelos regionales. También hay una serie de puestos de estacionamiento en remoto, que se pueden utilizar alternativamente para vuelos Schengen y no Schengen. La mayoría de puestos están diseñados para acoger, como máximo, aeronaves grandes de fuselaje estrecho como el Airbus A321 o el Boeing 757-300; las aeronaves de fuselaje ancho suelen concentrarse en el dique norte y las esquinas norte y sur; uno de ellos (217), puede acoger el Airbus A380-800 [4].

Para analizar el funcionamiento del aeropuerto y hacer una simulación coherente, se ha hecho una distinción entre dos casos básicos: la llegada de un avión y su salida. Esta última entraña mayor dificultad, ya que implica un retroceso con la ayuda de un tractor.

1.4.1. Salida de un avión

La hora de salida del avión es aquella en que suelta frenos para ser empujado hacia atrás por el tractor; entre esta hora (*off-block time*, *block-off time* u hora de calzos) y el despegue (*take-off time*) transcurre un tiempo medio de 15 minutos. En el Aeropuerto de Barcelona, por lo tanto, se tiene en cuenta un tiempo de rodadura (*taxi time*) estándar de 15 minutos. Este tiempo es el que se utiliza para autorizar la salida del avión cuando éste tiene alguna restricción al despegue (*slot* o *calculated take-off time/CTOT*). En este trabajo se ha considerado un tiempo medio de *push-back* de 5 minutos⁴.

Las rutas normalizadas de salida para las aeronaves cuyo puesto de estacionamiento esté en la T1 consisten en (para rampas -10, 11, 12 y 16) incorporarse por la puerta que ATC indique al rodaje por M12...6, E3...1, hasta el rodaje normalizado por la calle de rodaje K, que les lleva al punto de espera de la pista 25L, e (rampas -13, 14, 15, 16, 17 y 18) incorporarse, a través de la puerta que indique ATC, al rodaje normalizado por la calle K hasta el punto de espera de la pista 25L [4]. Todo esto, por supuesto, es en la configuración preferente; en configuración Este las rutas normalizadas (tanto de salida como llegada) cambian, así como los sentidos de la mayoría de calles de rodaje.

² Señalizadas en el plano como AS, BS, CS, ES, FS, GS, HS y JS.

³ En el plano, KS, LS, MS, NS, PS y QS.

⁴ Ver **tabla 2.6**.

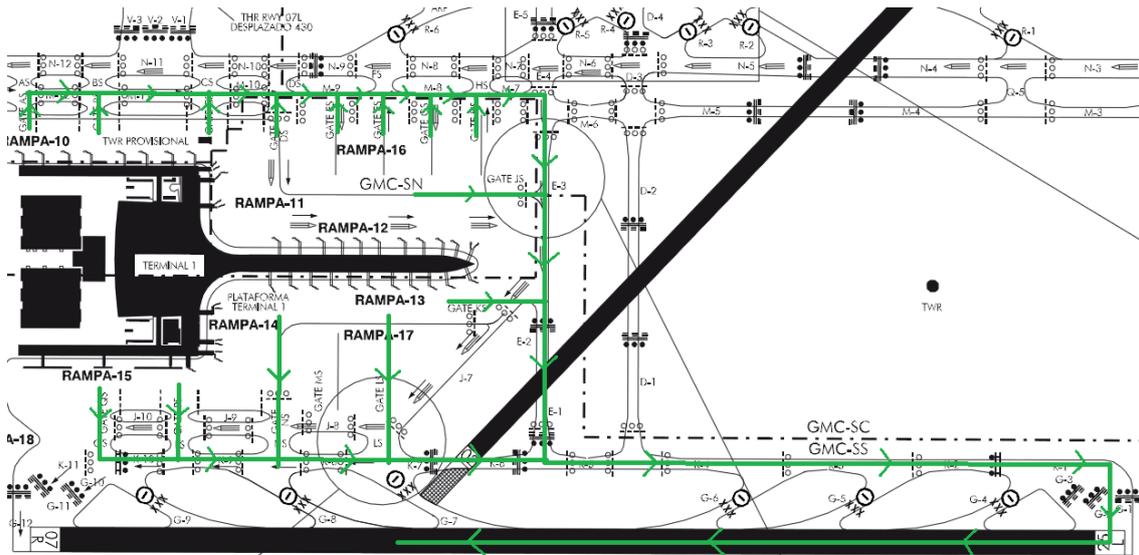


Fig. 1.13: rutas de salida normalizadas en el Aeropuerto de Barcelona-El Prat desde todas las rampas posibles (configuración oeste pistas paralelas).

1.4.1.1. Posiciones de estacionamiento en contacto (finger)

Cuando finaliza la escala de un avión estacionado en contacto, éste es empujado marcha atrás por un tractor, que lo deja alineado con la calle de acceso a puestos de estacionamiento. Este procedimiento (*push-back*) se hace asistido por un agente o mecánico que transmite al conductor del tractor las órdenes recibidas por la torre. Cuando empuja un avión el tractor circula, normalmente, a velocidad de paso de peatón, por lo que el retroceso es un procedimiento lento y complejo.

Por último, hay que tener en cuenta que los aviones realizan la puesta en marcha durante el retroceso. Los procedimientos de las compañías aéreas y los fabricantes de las aeronaves obligan a hacer unos chequeos (*check-lists*) posteriores a la puesta en marcha, por lo que cuando acaba el retroceso la tripulación suele tardar uno o dos minutos más para iniciar la marcha. Por lo tanto, el tiempo entre el final del *push-back* y el momento en el cual el avión rueda por sus propios medios es realmente reducido.

1.4.1.2. Posiciones de estacionamiento en remoto

En el aeropuerto de Barcelona-El Prat, los aviones estacionados en remoto pueden salir hacia adelante, por lo que no necesitan ser empujados por un tractor. Esto hace que la operación sea bastante más rápida. La puesta en marcha se realiza antes de soltar frenos, y por lo tanto antes de la hora de calzos, por lo que el tiempo de rodaje no incluye las comprobaciones posteriores a la puesta en marcha. Estos tiempos son, por consiguiente, más cortos; si la aeronave está estacionada en un puesto cercano a cabecera de pista (como los 4xx cuando se despegan por la pista 07R), los tiempos de rodaje pueden ser realmente bajos.

Hay que reseñar que los puestos de estacionamiento del dique sur son, a efectos del movimiento de aeronaves, en remoto, ya que, a pesar de que el embarque se hace sin jardinera, la salida del avión no requiere *push-back* y el procedimiento es el mismo que en cualquier otro puesto de estacionamiento en remoto.

1.4.2. Llegada de un avión

Para computar un tiempo medio de rodaje desde que el avión toma tierra hasta que pone el freno de estacionamiento (*block-on time* u hora de calzos de llegada) se ha seguido el mismo procedimiento que para el rodaje de la salida. El procedimiento es más simple, ya que en el aeropuerto de Barcelona-El Prat no existe remolque o *push-forward* a la llegada.

Las aeronaves llegan a los puestos de estacionamiento en contacto de manera completamente autónoma; una vez ahí, una guía electrónica, dotada de un monitor y un sistema láser de medición de distancias, y programada teniendo en cuenta el tipo de avión que llega, asiste al piloto para estacionar la aeronave sin necesidad de señalero. Éstos se reservan para casos especiales, como, por ejemplo, pilotos que vienen al aeropuerto por primera vez y necesitan asistencia para llegar a su destino. En los puestos de estacionamiento en remoto, una línea transversal a la vista del piloto indica a éste el punto de parada.

El hecho de no requerir señalero ni la complejidad de un *push-back* hace que la llegada sea un procedimiento mucho más sencillo que la salida. Por lo tanto, no es de extrañar que el tiempo de rodaje sea muy inferior.

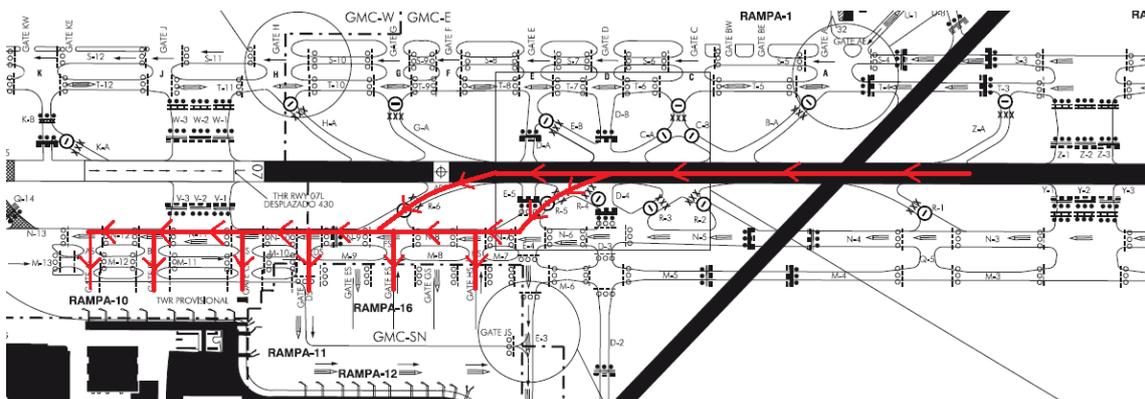


Figura 1.14: Rutas de llegada normalizada a la Terminal 1 del Aeropuerto de Barcelona-El Prat (rampas norte), para la configuración Oeste pistas paralelas [4].

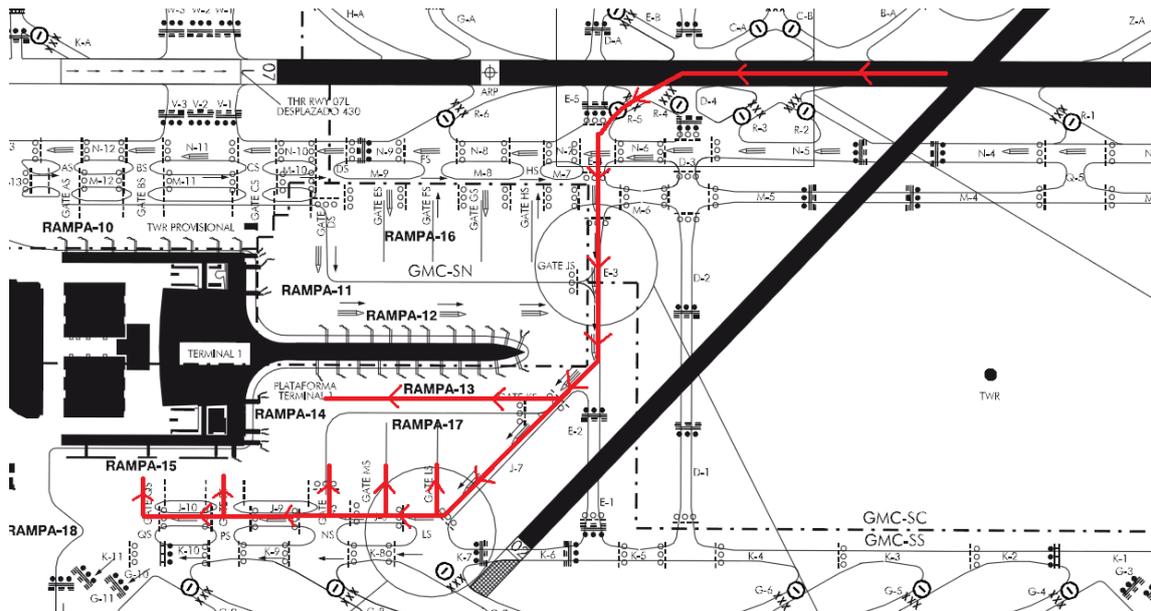


Figura 1.15. Rutas de llegada normalizada al Aeropuerto de Barcelona-El Prat (rampas sur), para la configuración Oeste pistas paralelas [4].

Para las llegadas también hay una serie de rutas normalizadas, consistentes en abandonar la pista 25R hacia el sur y continuar por la calle de rodaje N hasta la puerta que indique ATC (rampas -10, 11, 12 y 16), o tomar las N, E y J hasta la puerta que indique ATC (rampas -13, 14, 15, 16 y 17).

CAPÍTULO 2. TOMA DE DATOS

El objetivo de este trabajo ha sido simular, mediante un software, los flujos de pasajeros y aeronaves en la terminal T1 del Aeropuerto de Barcelona-El Prat. Pero la simulación, para ser lo más cercana posible a la realidad, requiere una calibración, y la mejor manera de hacerla es analizar cómo se desarrollan estos flujos en la vida real.

Algunos de estos datos, como planos de los que sacar distancias, se pueden conseguir de la web de Aena, pero otros, como el tiempo que se tarda en recorrer dichas distancias, han requerido mediciones *in situ*, ya que frecuentemente son recorridos tortuosos en los que la velocidad no es constante. Lo mismo con los movimientos de aeronaves en plataforma. Los *taxi times* (tiempo entre el aterrizaje y la llegada, o la salida y el despegue) se registran, pero no los tiempos de *push-back*, que han tenido que ser medidos.

2.1 Movimientos de pasajeros

Es necesario saber el tiempo que tarda un pasajero desde su llegada a la terminal (inicio de la simulación) hasta que alcanza la puerta de embarque. Para ello se han tenido en cuenta los siguientes casos:

- Llegada desde el aparcamiento
- Llegada desde la parada de la lanzadera

Desde allí, el pasajero tiene que ir, primero, a los monitores de información donde se muestra el número de mostrador de facturación, y después, a los mostradores (si no ha facturado online) o directamente al filtro de seguridad (si ya ha facturado). De ahí puede dirigirse bien al control de pasaportes (vuelos no Schengen) o a las puertas del nivel 1 (vuelos Schengen). La terminal es muy grande, así que dependiendo de la puerta a la que vaya tardará más o menos tiempo. Se ha tenido en cuenta una velocidad de paso medio, de entre 3 y 5 km/h, y NO se ha sumado a ella la velocidad de las cintas transportadoras, en caso de haberlas.

	DE	A	DISTANCIA	TIEMPO
	LADO TIERRA	ACCESO PARKING	FILTRO PUENTE AÉREO	195
VESTÍBULO SALIDAS			160	145
VESTÍBULO SALIDAS		MONITORES	25	23
		3XX	104	94
		4XX	69	62
		5XX	69	62
		6XX	104	94
		7XX	140	126
PARADA SHUTTLE		MONITORES	77	69
		3XX	32	29
		4XX	70	63
		5XX	140	126
		6XX	169	152
		7XX	240	216
MONITORES		FILTRO	65	56
3XX			100	90
4XX			65	59
5XX			65	59
6XX			100	90
7XX			137	125
FILTRO	CONTROL PASAPORTES	30	25	

Tabla 2.1. Distancias y tiempos entre varios puntos del lado tierra.

	DE	A	DISTANCIA	TIEMPO
LADO AIRE	FILTRO PUENTE AÉREO	A02	66	60
		A14	326	294
	FILTRO	CONTROL PASAPORTES	40	36
		A02	665	161
		A18	230	207
		B27	476	429
		B62	879	792
		C72	222	204
		C77	340	345
	CONTROL PASAPORTES	D18	95	86
		D08	350	315
		E77	304	274
		E73	211	190

Tabla 2.2. Distancias y tiempos entre varios puntos del lado aire.

Como se ve, las diferencias de tiempo entre ir a una u otra puerta son muy grandes, dado el tamaño de la terminal. Esto implica que es importante llegar al aeropuerto con un margen suficiente, ya que, de embarcar en una puerta lejana el filtro, a paso ligero se pueden tardar casi 15 minutos en llegar desde él.

Las siguientes tablas (2.3 y 2.4) muestra el tiempo necesario para facturar (facturación tradicional). Se ha medido el tiempo que se tarda en facturar uno o más pasajeros de varios vuelos operados por diferentes agentes de handling. La tabla de la columna derecha, por su parte, muestra el tiempo necesario para cruzar los diferentes filtros de seguridad. La llegada al filtro implica un zigzag previo; de ahí que se le haya asignado un apartado propio. Se ha analizado el filtro del vestíbulo de salidas (planta 3), ya que en los otros apenas hay actividad. Los datos corresponden a un día sin congestión, ya que de haberla la medida sería irrelevante.

La tabla 2.5 recoge los tiempos de embarque de varios vuelos, desde que el primer pasajero cruza la puerta hasta que ésta se cierra. Estos tiempos quedan registrados por el operador de handling, que es de donde se han obtenido. Dado que los vuelos no Schengen pueden tener embarques más complicados (documentación dudosa, controles policiales en vuelos a Israel), se menciona, también, si el vuelo va a un destino no Schengen.

COMPAÑÍA	#PAX	TIEMPO	TIEMPO/PAX
VLG	2	100	50,00
VLG	1	80	80,00
VLG	2	110	55,00
VLG	3	124	41,33
SWR	1	75	75,00
SWR	1	84	84,00
VLG	4	181	45,25
SWR	2	85	42,50
VLG	3	115	38,33
VLG	2	102	51,00
VLG	1	121	121,00
SWR	1	89	89,00
SWR	1	69	69,00
DLH	1	88	88,00
DLH	1	90	90,00
VLG	2	114	57,00
DLH	1	84	84,00
DLH	1	101	101,00
VLG	3	140	46,67
VLG	3	153	51,00
VLG	2	115	57,50

Tabla 2.3. Tiempo empleado (segundos) en facturar (facturación tradicional).

COMPañÍA	#PAX	TIEMPO	TIEMPO/PAX
AEA	4	285	71,25
AEA	3	125	41,67
AEA	4	244	61,00
AEA	1	95	95,00
AZA	1	96	96,00
AEA	2	110	55,00
AZA	1	95	95,00
AEA	3	152	50,67
AEA	4	225	56,25
AZA	2	114	57,00
AEA	2	112	56,00
AEA	1	96	96,00
AZA	1	98	98,00
VLG	2	112	56,00
VLG	2	117	58,50
VLG	1	100	100,00
VLG	1	99	99,00
SWR	1	87	87,00
DLH	1	78	78,00
DLH	1	89	89,00
SWR	1	85	85,00
VLG	1	90	90,00
VLG	2	114	57,00
SWR	1	75	75,00
SWR	2	102	51,00

Tabla 2.3. Tiempo empleado (segundos) en facturar (facturación tradicional).

CRUCE FILTROS			CRUCE FILTROS		
TIEMPO			TIEMPO		
CINTAS	FILTRO	C.PASAPORTES	CINTAS	FILTRO	C.PASAPORTES
58	125	10	57	125	10
55	121	12	62	140	10
59	130	9	59	150	11
57	145	8	59	160	12
52	150	5	60	150	11
70	130	14	63	175	9
65	150	9	57	146	15
50	120	11	55	156	10
51	120	10	65	188	8
55	125	9	58	120	20
53	130	20	60	125	9
59	150	10	59	134	15
61	180	15	58	130	11
59	170	14	59	140	12
58	150	14	61	125	11
55	135	9	60	145	14
62	145	10	62	150	15
59	158	9	55	125	10
57	147	15	56	125	11
58	120	13	57	130	10
60	140	13	58	135	9
55	145	10	58	140	11
59	150	22	59	130	12
58	130	12			
59	135	14			

Tabla 2.4. Tiempo empleado en cruzar los filtros de seguridad⁵ (s).

⁵ "Cintas" se refiere a la aproximación al filtro, dispuesta mediante cintas de tela.

VUELO	PASAJEROS	TIPO EMBARQUE	PUERTA	NO SCHENGEN	INICIO EMBARQUE	FIN EMBARQUE	TIEMPO EMBARQUE
VY8011	161	FINGER	B65		03:28:00	03:54:00	26
VY1093	126	FINGER	B39		03:32:00	03:58:00	26
VY3510	119	FINGER	A12		03:31:00	03:59:00	28
TK1852	131	FINGER	E74	SÍ	03:29:00	03:51:00	22
AZ075	153	FINGER	B44		03:52:00	04:12:00	20
KL1662	178	FINGER	B28		03:43:00	04:16:00	33
IB0641	106	FINGER	A02		04:13:00	04:36:00	23
VY1573	98	FINGER	B47		05:02:00	05:27:00	25
VY1055	146	FINGER	A21		05:27:00	05:53:00	26
VY2972	120	FINGER	B61		05:32:00	05:56:00	24
AEA9100	163	FINGER	B48		05:37:00	05:55:00	18
VY8460	172	FINGER	A12		05:28:00	06:01:00	33
VY1444	118	REMOTO	B59		05:35:00	06:02:00	27
VY3788	120	FINGER	B62		05:41:00	06:02:00	21
VY1141	133	FINGER	B51		07:21:00	07:54:00	33
VY1871	126	REMOTO	A20		07:12:00	07:50:00	38
VY3904	153	FINGER	B27		07:51:00	08:12:00	21
VY1263	140	FINGER	A21		08:01:00	08:21:00	20
VY6500	123	FINGER	B39		08:02:00	08:19:00	17
VY8059	161	FINGER	B36		07:59:00	08:23:00	24
VY6400	156	FINGER	A22		08:06:00	08:24:00	18
AF1149	189	FINGER	B28		08:03:00	08:20:00	17
VY3194	178	FINGER	A08		08:53:00	09:23:00	30
XM5053	51	FINGER	B52		09:01:00	09:23:00	22
AF1649	193	FINGER	B24		13:20:00	13:52:00	22
IWD9851	173	FINGER	B43		13:33:00	13:58:00	25
AZ069	83	FINGER	C72		13:49:00	14:00:00	11
VY1438	115	REMOTO	A20		13:29:00	14:05:00	36
VY2374	134	FINGER	B31		13:52:00	14:21:00	29
VY8055	134	FINGER	B36		13:52:00	14:21:00	29
IB1635	100	FINGER	A02		14:16:00	14:34:00	18
AEA9143	169	REMOTO	C71		13:59:00	14:08:00	9
IB2719	34	FINGER	A04		14:31:00	14:55:00	24
SU2515	45	FINGER	D19	SÍ	14:58:00	15:06:00	8
VY2268	117	FINGER	B35		14:51:00	15:13:00	22
AF3127	46	FINGER	C77		15:01:00	15:12:00	11
VY1873	148	FINGER	A12		14:51:00	15:17:00	26
VY8077	110	FINGER	B28		15:02:00	15:23:00	21
VY1306	129	FINGER	B39		14:57:00	15:25:00	27
AEA6019	158	REMOTO	B38		15:13:00	15:21:00	45
VY1081	153	FINGER	B27		15:27:00	15:40:00	18
TK1856	133	FINGER	E74	SÍ	15:39:00	15:45:00	16
IB1735	121	FINGER	A02		15:37:00	15:46:00	11
KL1674	167	FINGER	B32		14:56:00	15:21:00	25
VY1011	140	FINGER	A19		16:00:00	16:30:00	30
AZ079	113	FINGER	C73		16:20:00	16:34:00	14
VY4627	174	FINGER	A12		16:00:00	16:40:00	40
VY1672	126	FINGER	B31		18:09:00	18:30:00	21
VY1575	115	FINGER	A10		18:25:00	18:40:00	15
AEA423	186	FINGER	E70	SÍ	22:03:00	22:16:00	20

Tabla 2.5: Tiempos de embarque (en minutos). En el recuadro separado, media.

23,30

2.2. Movimientos de aeronaves

En este caso, los tiempos de rodaje son la diferencia entre la hora de salida de calzos y la de despegue. Dada la ya comentada poca fiabilidad de algunos de estos tiempos, se han suprimido los que eran anormalmente altos (>20 minutos), ya que Aena, al asignar *slots* u horas calculadas de despegue, tiene en cuenta un rodaje medio de 15 minutos.

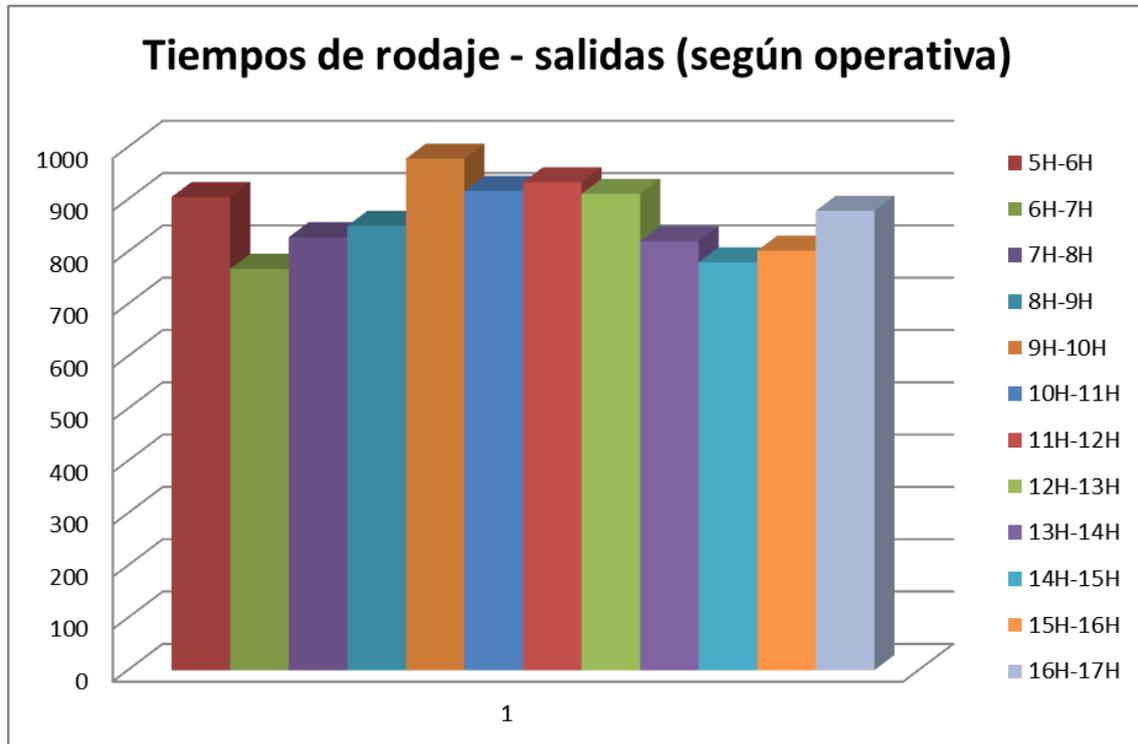


Fig. 2.2.1: Tiempos de rodaje (segundos), en salidas, distribuidas por horas,

Para calcular el tiempo transcurrido entre el *block-off time* y el *take-off time* (*taxi time*) se ha contado con los datos de la operativa del operador de handling más grande del aeropuerto (Groundforce). En estos datos quedan registradas la hora de calzos y el *take-off time*. En la mayoría de los casos, la hora de calzos queda registrada por el sistema ACARS o personal de tierra. Sin embargo, los procedimientos de algunas compañías permiten a las tripulaciones o a su representación en tierra ajustar esta hora a sus preferencias (p.e., para maquillar un retraso), por lo que se han descartado automáticamente los tiempos de vuelos de líneas aéreas que permiten esto. Los tiempos anormalmente altos corresponden a aviones que han tenido que esperar a que otro avión terminara el retroceso para poder salir hacia atrás, pero dado que el tiempo de rodadura se empieza a contar desde que el avión suelta frenos, se han incluido en la estadística.

Con todo esto, podemos obtener la velocidad media a la que circula una aeronave por rodadura, teniendo en cuenta paradas para ceder el paso y giros en los que disminuya la velocidad. Para la carrera de despegue se han tenido en cuenta la V_2 o velocidad segura de despegue y la longitud de una carrera

de despegue para cada modelo de avión. Estos cálculos son resultado de una media de las velocidades y distancias necesarias para muchas condiciones diferentes de carga y condiciones meteorológicas. Para el aterrizaje se ha hecho lo mismo con los parámetros *ground speed* y distancia de frenado hasta la velocidad máxima recomendada en rodadura. Es obvio que cada piloto ajustará esta última velocidad a las condiciones de contorno, pero se considera que esta variación no será lo suficiente para determinar grandes cambios en el *taxi time*.

Dado que estos tiempos incluyen el tiempo de *push-back*, se han cronometrado una serie de retrocesos para ver qué parte del tiempo pertenece a ellos.

VUELO	POSICIÓN	TIEMPO PUSH-BACK
UAL121	280	435,00
VY1095	226	265
KL1666	268	253
VY2433	230	262
VY1784	236	255
XM5053	254	330
VY6332	224	281
BA479	208	387
A3681	252	355
VY1900	266	363
VY3934	260	290
VY3654	258	277
RO422	210	275
IB1231	206	263
BA472	206	270
VY6372	226	267
VY8332	234	278
QR068	221	355
VY3710	224	301
VY6240	220	275
AF1649	268	314
BA475	208	313
AZ069	272	263
VY2270	232	300
VY1127	236	273
VY6102	230	315
IB1001	202	295
VY2014	260	255
MEDIA		298,75

Tabla 2.6. Tiempo empleado, en segundos, en el retroceso a la salida de los estacionamientos en finger.

CAPÍTULO 3. SIMULACIÓN

La simulación es una recreación virtual de un sistema que tiene por objetivo parecerse el máximo posible a su doble real. La simulación es una herramienta con la que se puede hacer un modelo a escala y funcionando de una gran infraestructura permitiendo su análisis que, de otra manera, es inabarcable. Con esto, se comprende mejor su funcionamiento, se pueden ver sus puntos débiles y pueden plantearse escenarios diferentes, que todavía no se han dado en la realidad, para analizarlos y actuar en consecuencia de cara al futuro. También es de gran utilidad también en el diseño de infraestructuras en fase de proyecto, de forma que se dimensiona adecuadamente ya desde los inicios.

El objetivo ha sido conseguir una “caja” cerrada, en la que, mediante una interfaz programada en Visual Basic para Aplicaciones, el usuario introduce un conjunto de datos de entrada (parámetros funcionales y plan de vuelos de un día determinado y se obtiene unos resultados (llenado de filtros, congestión en las puertas de embarque, conflictos en rodadura) sin tener que modificar en ningún momento el núcleo del software de simulación.

El software utilizado en este proyecto para simular el Aeropuerto de Barcelona-El Prat ha sido AutoMod en su versión 11.2. Fue desarrollado con el objetivo de recrear entornos industriales y procesos logísticos. Permite hacer sistemas con gran cantidad de maquinaria y equipos industriales, como cintas transportadoras que llevan cargas, sistemas de caminos con vehículos que las transportan, etc. No obstante en este proyecto se ha cambiado radicalmente su funcionalidad para utilizarlo en la recreación de un entorno aeroportuario, donde se simula tanto el flujo de pasajeros como el de aeronaves.

Para simular los movimientos de aeronaves se ha diseñado un sistema de cintas transportadoras, donde las cargas que circulan sobre ellas son las aeronaves; en cuanto a los movimientos de pasajeros, estas cargas son las personas. Cada carga contiene un conjunto de atributos que la definen y la hacen única respecto al resto. Estos atributos pueden ser desde el vuelo del pasajero a la hora de salida de la aeronave según el caso.

Las cargas van a *estaciones*, principales puntos donde se producen los procesos que deben realizar las cargas. Estos procesos pueden incluir acciones como esperar, cambiar de dirección o modificar sus atributos.

La programación en AutoMod tiene dos entornos. Uno basado en líneas de código, en el cual el lenguaje tiene similitudes con Visual Basic. No obstante necesita de la declaración e inicialización de los elementos que utiliza (variables, funciones, subrutinas) por separado antes de utilizarlas en los ficheros de código. Por ejemplo, si se quiere que un vehículo recoja una carga en un punto determinado y lo lleve a otro, el código será:

```
begin P_RecogeCarga arriving procedure
```

```
    Move to modelo.UnPuntoDeterminado
```

```
Travel to modelo.Otro  
End
```

Como puede observarse en el ejemplo la realización de una acción tan básica como una parte del movimiento de una única carga comporta la utilización de 1 proceso, varias líneas de código y el uso de variables y estaciones.

P_RecogeCarga es un proceso (*Process*), que ha tenido que definirse. La carga (*Load*) se genera en alguna parte del sistema, y, o se queda allí, o llega a otro sitio, vía cintas transportadoras o vía vehículos, por medio de otro proceso.

Ese proceso la deja en la puerta de entrada de otro proceso, que es lo que se llama *arriving procedure*. *Move to* implica mover la carga hacia un punto que pueda ser alcanzado por el vehículo, en este caso, *cp.UnPuntoDeterminado*. Una vez allí, utilizará el vehículo (*Vehicle*), que también se ha definido previamente, para viajar (*Travel to*) hacia otro punto, en este caso *cp.Otro*. Al llegar a ese punto, podrá ser recogida por el procedimiento de llegada de otro proceso. Todo elemento de código se encuentra siempre acotado entre dos palabras clave del sistema, *begin* y *end*.

Por tanto el lenguaje ha requerido de un estudio intensivo para poder desarrollar con él al tener características únicas.

Toda la lógica del programa debe desarrollarse completamente por código, con lo que implica grandes cantidades de líneas. A su vez la sintaxis de programación es muy estricta y no permite errores. Tampoco se encuentran asistentes de programación y el sistema de depuración es muy básico.

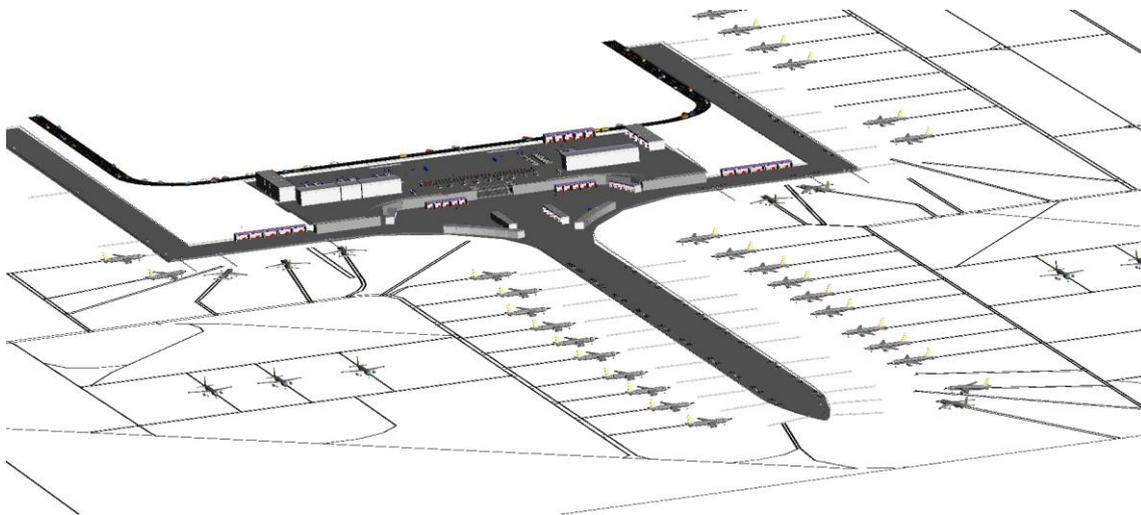


Fig. 3.1. Vista general de la simulación de la terminal. Se puede observar tanto el edificio terminal como las calles de rodaje.

El otro entorno principal de Automod es el entorno gráfico. Contiene un editor de sistemas estáticos, esto es, decorados. También se ha utilizado esta posibilidad para diseñar el edificio terminal y su mobiliario (mostradores de facturación, pantallas de información, filtros, tiendas). Todos estos sistemas

(cintas, caminos y sistemas estáticos) pueden mostrarse o no a voluntad para que durante la ejecución el sistema completo tenga el aspecto deseado.

En los dos apartados siguientes se explica el funcionamiento de la simulación.

3.1 Simulación de los movimientos de pasajeros

Este apartado resume todos los movimientos de los pasajeros dentro de la terminal 1 del Aeropuerto Barcelona-El Prat, desde el momento que entran a la terminal hasta que embarcan en su vuelo. En esta simulación los pasajeros han sido identificados como cargas (loads) que pasan por diferentes procesos dentro de la T1. En el Capítulo 1 se explican detalladamente estos procesos (facturación, controles de seguridad, embarque).

Los pasajeros (loads) se desplazan por toda la terminal y llegan a cada proceso mediante cintas transportadoras, las cuales conducen a los pasajeros a todas las *estaciones* donde realizan *procesos*. También se han utilizado las cintas transportadoras para simular la llegada de los vehículos que transportan a los pasajeros a la terminal. En este caso se ha cambiado la textura de los transportadores para que la recreación de la carretera sea más realista.

Dada la extrema complejidad de la simulación y todos los factores que influyen a la hora de programarla, se han tenido en cuenta los procesos más significativos dentro de la Terminal 1 :

- Llegada de los pasajeros al aeropuerto, mediante vehículo privado o público.
- Entrada a la terminal 1 desde el parking.
- Facturación con o sin equipaje, check- in online y auto check-in.
- Monitores de información tanto en la zona facturación como en la zona de embarque. La mayoría de los pasajeros que acceden a la terminal 1, se dirigen a las pantallas informativas localizadas tanto en el lado aire como en el lado tierra para verificar la hora de salida de su vuelo, mostrador de facturación asignado y puerta de embarque. Estas pantallas también pueden contener información adicional como retrasos y cancelaciones.
- Pasajeros Schengen, no Schengen e Internacionales
- Control de tarjeta de embarque antes de pasar el control de seguridad.
- Control de seguridad y el porcentaje de pasajeros que no superan el primer control de seguridad y tienen que volver a realizarlo.
- Control de pasaportes para aquellos pasajeros con destino internacional no Schengen

- Cintas mecanizadas en la zona de embarque B, que hacen más cómodo el desplazamiento a los pasajeros para alcanzar las puertas de embarque que se encuentran más alejadas dentro de la terminal.
- Zonas de espera en la zona de embarque, donde los pasajeros pueden sentarse mientras esperan el inicio del embarque de su vuelo.

A partir de estos procesos se ha recreado tanto el entorno gráfico como funcional de la terminal 1 del Aeropuerto de Barcelona-El Prat, consiguiendo así un modelo que simula de forma realista todos los procesos y situaciones que ocurren en esta terminal. Se pretende que esta simulación pueda ser utilizada para cualquier día u hora, por lo que está realizada y diseñada para que se pueda cargar cualquier plan de vuelos, y a partir de éste se extraigan diferentes datos sobre el flujo de pasajeros de ese día.

Para explicar esta parte de la simulación se diferenciarán dos zonas de la terminal mediante niveles, como actualmente se encuentra en la terminal 1: lado tierra y lado aire.

3.1.1. Lado Tierra

Los procesos que se desarrollan antes de cruzar el filtro o control de seguridad son los siguientes:

3.1.1.1. Entrada a la terminal

La entrada a la terminal de los pasajeros se centra principalmente en la llegada de los viajeros al vestíbulo de salidas situado en la planta 3. La llegada de los pasajeros a esta planta puede ser por dos vías: las dos escaleras mecánicas que suben desde la planta 1, utilizadas por los pasajeros que provienen del parking, o las cinco entradas que hay en el vestíbulo de salidas, utilizadas principalmente por pasajeros que llegan a la terminal con autobuses, taxis, el Aerobús o coches de acompañantes. El método de transporte utilizado por los pasajeros corresponde a los porcentajes obtenidos en la toma de datos realizada anteriormente.



Fig. 3.2. Vista vestíbulo de salidas. Se aprecia el vial de salidas, la zona de facturación y las escaleras mecánicas por donde suben los pasajeros procedentes del parking. Las líneas naranjas son las citas transportadoras por la que se desplazan los pasajeros.

La entrada de los pasajeros mediante las entradas principales se ha realizado distribuyendo de forma aleatoria los mismos dado que pueden proceder de cualquier punto del vial de salidas.

Con el objetivo de hacer una simulación lo más parecida a la realidad posible, se han modelado los coches, taxis y autobuses que dejan a los diferentes tipos de pasajeros que van a coger un vuelo. Estos vehículos circulan por el vial de salidas de tres carriles que se encuentra justo delante del vestíbulo de salidas. Los vehículos paran en una de las entradas de la terminal, donde los pasajeros lo abandonan para dirigirse a la zona de facturación.



Fig. 3.3. La terminal vista desde el lado tierra. Se aprecia el vial de salidas, el vestíbulo de salidas, y, al fondo, el lado aire: la espada o dique longitudinal y varios aviones estacionados.

El momento del día en el cual los pasajeros llegan a la terminal viene definida por dos elementos: la hora de salida de su vuelo y la curva de presentación de pasajeros para ese tipo de vuelo. La curva de presentación define el porcentaje de pasajeros que llega en cada intervalo de tiempo, desde tres horas antes hasta la hora de salida del mismo.

La hora de salida de cada vuelo viene definida por el plan de vuelos importado. En cuanto a la curva de presentación puede parametrizarse en la interfaz de configuración de la simulación.

3.1.1.2. Procesos posteriores a la entrada

A su llegada a la planta 3, cada pasajero realiza diferentes procesos contiguos dentro de la terminal, dependiendo siempre del plan de vuelo de ese día en la terminal y de los porcentajes y parámetros que se indiquen en la simulación:

Consulta en las pantallas de información: Un alto porcentaje de los pasajeros que entran en la planta 3 se dirigen primero a las monitores de información con la finalidad de conocer los datos de su vuelo. En la simulación estas pantallas han sido colocadas, y se encuentran principalmente cerca de las entradas a la terminal.

En este proceso existen dos subprocesos. El primero es la llegada del pasajero a la pantalla de información de vuelos, y el segundo, la salida del pasajero de la pantalla. Cada una de las entradas y salidas a las pantallas de información de vuelos tienen asignadas una estación.



Fig. 3.4. Mostradores de facturación y monitores de información. Las líneas color naranja son las cintas transportadoras.

En el primer subproceso se han tenido en cuenta las entradas por las que cada pasajero entra a la terminal, y se ha programado un algoritmo para que cada pasajero se dirija aquella pantalla que esta más cercana a su entrada. Cuando un pasajero llega a un monitor de información, espera un intervalo de tiempo que equivale al tiempo que tarda en localizar su vuelo. En el segundo subproceso, el pasajero o carga sale del monitor de información, y se traslada a una segunda estación que da por finalizado este proceso y conduce al pasajero hacia su siguiente acción.

Facturación convencional: Cada pasajero tiene un vuelo asignado y por tanto uno o varios mostradores donde puede realizar la facturación. En la mayoría de los casos hay dos o más mostradores de facturación que facturan a los pasajeros de un mismo vuelo. En esta simulación se ha programado un algoritmo de cola, que hace que cada pasajero se dirija al mostrador de entre los que tiene asignados que tenga una cola más corta para evitar atascos y cuellos de botella.



Fig. 3.5. Mostradores de facturación.

Cada mostrador de la terminal tiene asignado un número, y también le corresponde un número de estación. En el momento que un pasajero llega a esa estación (ubicada justo delante de su mostrador), espera un intervalo de tiempo, que es el que tardan los agentes handling en facturar a un pasajero (y definido por un parámetro configurable). Este intervalo es mayor para los pasajeros cuyo vuelo sea internacional. Después, los pasajeros van a una estación situada justo al lado de su mostrador, la cual da por finalizado el proceso de facturación y enruta a los pasajeros al próximo proceso dentro del lado tierra: el control de seguridad.

Auto-facturación: Un porcentaje de pasajeros factura mediante las máquinas de auto check-in situadas en planta 3 de la terminal, en la zona de facturación. La auto-facturación también se divide en dos procesos: llegada a las máquinas y salida de las máquinas.

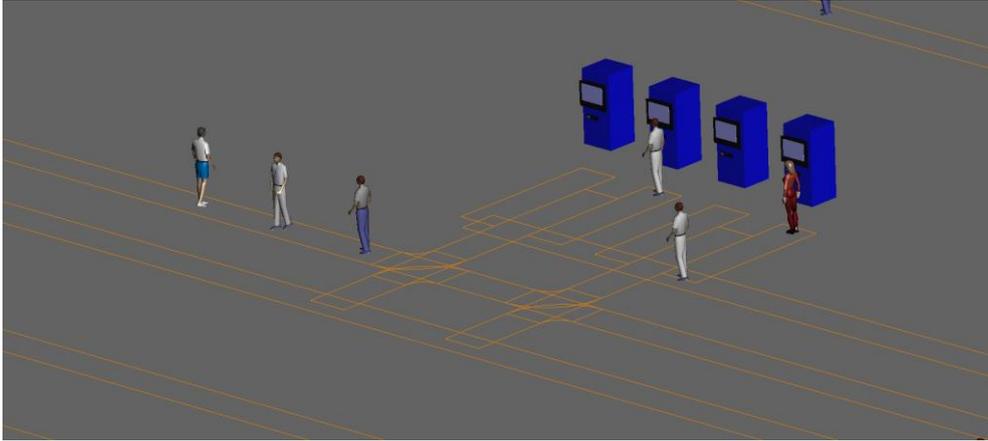


Fig. 3.6. Máquinas de auto check-in, las líneas color naranja son las cintas transportadoras por las que se trasladan los pasajeros.

En el primer proceso se ha programado un algoritmo para que cada pasajero se dirija a la máquina de auto check-in que se encuentra más cerca de su entrada. En este proceso también se ha tenido en cuenta el intervalo de tiempo que tarda el pasajero en obtener su tarjeta de embarque. Tras ese tiempo, el pasajero va a la estación de salida del proceso, que acaba el proceso y envía al pasajero a los controles de seguridad.

Control de seguridad: Existe un porcentaje de pasajeros que han realizado lo que se denomina facturación online, o facturación desde casa. Esto implica que a su llegada al aeropuerto pueden dirigirse directamente a la zona de embarque de la terminal, ya que cuentan con la tarjeta de embarque. Este grupo de pasajeros no realiza ninguno de los procesos mencionados anteriormente y se dirigire directamente a los controles de seguridad, situados al oeste de la planta 3. Aquí, otro algoritmo traslada los pasajeros a través de las cintas transportadoras hasta el filtro de seguridad más cercano a la entrada por la que han accedido a la terminal.

3.1.1.3. Traslado de lado tierra a lado aire

El control de seguridad es el proceso siguiente a la obtención de la tarjeta de embarque. Al igual que en la realidad, en la simulación el filtro tiene dos posibles entradas; los pasajeros entran por la que tienen más cerca. Los pasajeros hacen la cola de espera para poder acceder al control de seguridad de la terminal; una vez hayan llegado al final de la cola esperan el tiempo necesario para mostrarle la tarjeta de embarque al guardia de seguridad.

El algoritmo por el que se rigen los controles de seguridad, es un algoritmo de bloques y colas, con el fin de evitar colapsos y cuellos de botella. Inicialmente, los pasajeros se dirigen a los filtros laterales, filtro 1 y filtro 9, y en el momento que estos van aumentando su número de cola, los pasajeros van llenando los filtros contiguos, filtro 2 y filtro 8, y así sucesivamente. Este proceso tiene en cuenta el intervalo medio de tiempo que tarda un pasajero en cruzar el control de seguridad



Figura 3.7. Filtros, vistos desde diferentes ángulos.

En la realidad, un porcentaje de los pasajeros que atraviesan el filtro de seguridad tienen que volverlo a pasar o ser inspeccionados por un agente de seguridad, debido a que llevan encima objetos metálicos o simplemente por un control aleatorio. Estos casos también se han tenido en cuenta en el código, por lo que se ha programado una función para que un tanto por ciento de los pasajeros que cruzan el filtro de seguridad tengan que volver a atravesarlo. La función simula este error haciendo esperar a la carga más tiempo en el filtro.

3.1.2. Lado aire

Una vez los pasajeros han cruzado los controles de seguridad, pasan al lado aire de la terminal. Es en este instante se separan los flujos de pasajeros según el destino: los pasajeros con destino internacional tienen que pasar nuevamente un control, el de pasaportes, situado en misma planta de facturación y se dirigen a su puerta para embarcar. Los pasajeros están identificados según su destino, para que el código pueda enviarlos a uno u otro proceso.

Los pasajeros con destino Schengen o nacional bajan por las escaleras situadas después de los controles de seguridad hasta la planta 1, donde van a la puerta de embarque que tengan asignada.

3.1.2.1. Pasajeros internacionales o no Schengen

En la planta 3 de la terminal existen dos controles de pasaportes con cuatro mostradores cada uno. Cada uno de estos controles conduce a puertas de embarque distintas. Según la puerta de embarque que tengan asignada, los pasajeros se dirigirán al control correspondiente.

En cada control de pasaportes también se ha programado un algoritmo de cola para evitar atascos y cuellos de botella en su entrada. Cuando los pasajeros llegan a la zona de control de pasaportes que les corresponde, se dirigen a los

controles con un número menor de pasajeros en su cola, simulando, en la medida de lo posible, el comportamiento de un pasajero real. En este proceso también se ha tenido en cuenta el intervalo de tiempo que tardan los agentes de seguridad en comprobar los pasaportes.

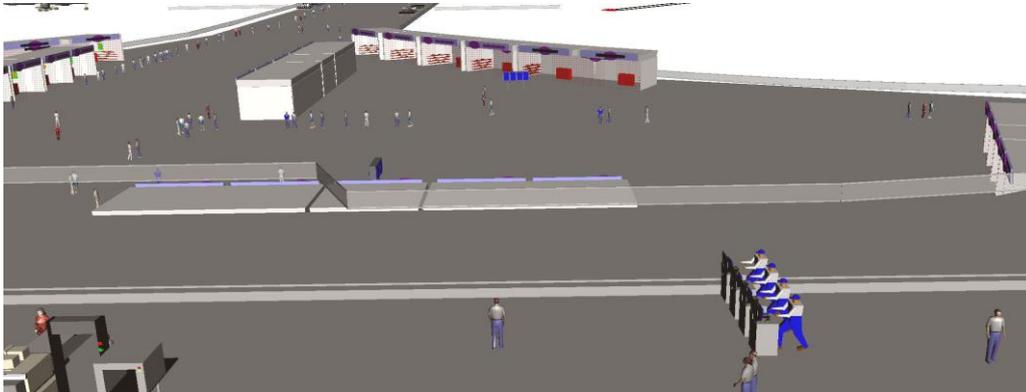


Figura 3.8. Controles de pasaportes, planta 1.

Después de atravesar el control de pasaportes, los pasajeros se dirigen a la puerta de embarque donde vayan a embarcar. Cada puerta de embarque tiene su correspondiente algoritmo de cola. Los pasajeros empiezan a embarcar en los aviones cuando la hora del embarque sea igual a la hora de la simulación.

3.1.2.2. Pasajeros nacionales o Schengen

Los pasajeros con destino Schengen o nacional, bajan, mediante las escaleras que hay después de los controles de seguridad, a la planta 1 lugar donde se encuentra el llamado *Sky Center*. La planta 1 de la terminal tiene una extensión considerable, y al igual que en el proceso de facturación se ha tenido en cuenta que un porcentaje de los comprobará su puerta de embarque en las pantallas de información de vuelos situadas en la zona del *Sky Center* para conocer el estado de su vuelo y verificar la puerta de embarque. Del mismo modo que en los monitores de la zona de facturación, esto implica hacerles esperar un tiempo delante de los monitores.

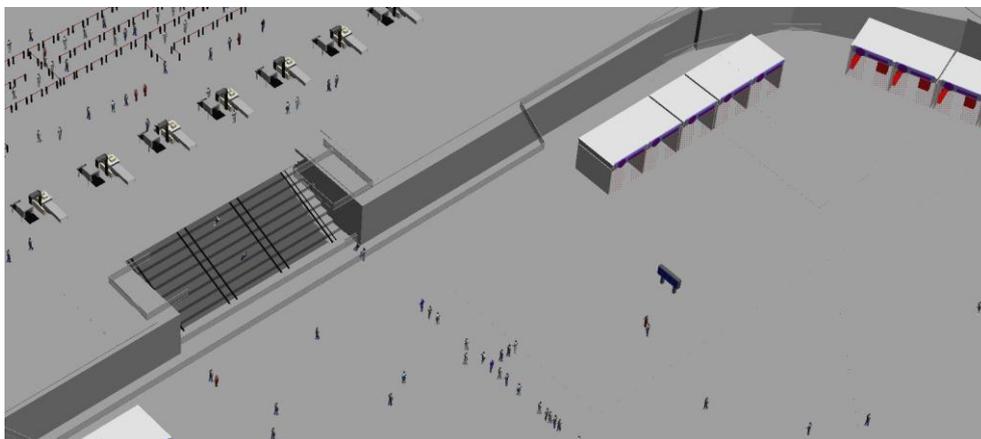


Figura 3.9. Vista general del Sky Centre y detalle de los monitores de información.

Al finalizar este proceso, los pasajeros van a la puerta de embarque que tiene asignada su vuelo.

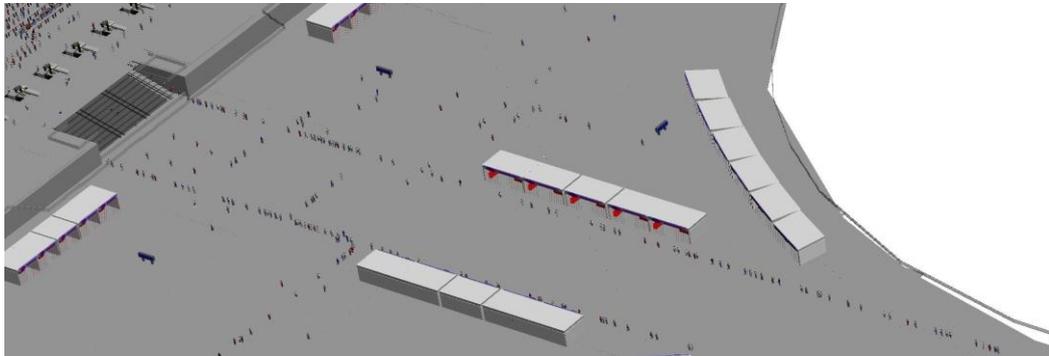


Figura 3.10. Vista general del Sky Centre.

En la zona de embarque de la espada (puertas B) se han recreado también las cintas mecánizadas, que facilitan el trayecto a los pasajeros. Todos los traslados de los pasajeros en la simulación se realicen con cintas transportadoras, pero estas en concreto tienen una velocidad y textura diferente para que su funcionamiento se aproxime lo máximo posible a la realidad.

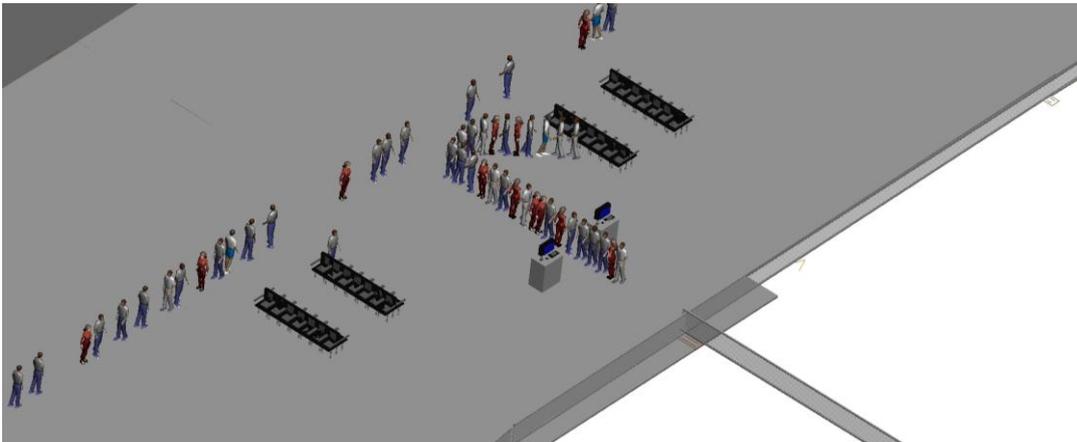


Figura 3.11. Embarque de pasajeros

En cada puerta de embarque se han instalado una zona de espera con asientos. Los pasajeros que lleguen a la puerta de embarque antes de la hora se dirigen a la zona de asientos asignada a su puerta de embarque y esperan sentados hasta que empiece el embarque del vuelo y puedan entrar a la aeronave. Se ha desarrollado un algoritmo que tiene en cuenta los asientos disponibles y los que se encuentran ya ocupados. Del mismo modo los pasajeros se distribuyen sentándose primero en aquellos asientos más cercanos a la puerta de embarque. Los pasajeros permanecen sentados hasta que la hora de embarque de su vuelo se alcanza, momento en el cual se inicia el proceso de embarque y los pasajeros empiezan a realizar la cola de embarque.

Para evitar colapsos y cuellos de botella, en cada puerta de embarque se programado un algoritmo de cola. Cuando todos los asientos están ocupados, los pasajeros entran en la cola simulada hasta la hora del embarque.

3.2 Simulación de los movimientos de aeronaves

Como en el caso de la terminal de pasajeros, la simulación del movimiento de las aeronaves por el aeropuerto ha requerido:

- Toma de datos *in situ*
- Modelado del sistema en AutoMod
- Calibración del sistema por medio de la toma de datos

El modelado del sistema en AutoMod se ha hecho tomando como base los planos que proporciona Aena [4][5][6] como información aeronáutica. Están actualizados y son muy fiables, ya que son los mismos que utilizan los pilotos que vuelan a o desde el aeropuerto de Barcelona-El Prat. Estos planos se descargan en formato PDF. Por medio de un software adicional, se han convertido a DWG (formato utilizado por la mayoría de software de diseño asistido por ordenador), para poderlos acotar mediante SolidEdge. Estas medidas, a escala, se han trasladado a AutoMod, donde se ha dibujado un sistema de cintas transportadoras (*conveyors*) de las mismas dimensiones.

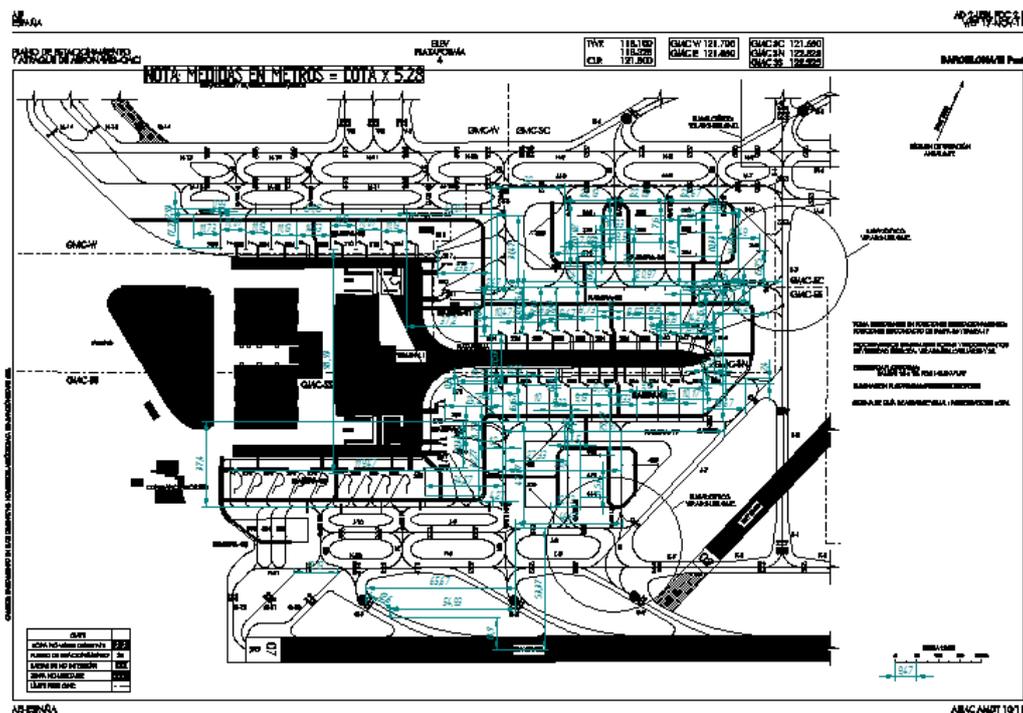


Figura 3.12. Plano de movimientos en tierra del Aeropuerto de Barcelona-El Prat, escalado y parcialmente acotado en SolidEdge.

Dada la extrema complejidad de la simulación, se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se utiliza una sola configuración de pistas (diurna, oeste pistas paralelas). Es razonable ya que la inmensa mayoría de las operaciones son en configuración diurna.
- Como en la simulación de pasaje, no hay vuelos regionales.
- Los vehículos handling no interfieren en la simulación. Si bien tienen gran responsabilidad en el desarrollo de la escala, muy pocas veces harán frenar a una aeronave, ya que éstas siempre tienen prioridad en la circulación por plataforma. La relación coste-beneficio, de haber simulado todos los procesos handling, era por lo tanto muy desfavorable.
- La velocidad media en las calles de rodaje es de 20 km/h. La velocidad media en los *push-back* es de 1 km/h (si bien la velocidad de un avión empujado por un tractor suele ser mayor, próxima al paso humano, el sistema de cintas impide simular el retroceso completo, así que se ha implementado un recorrido más corto, marcha adelante, a una velocidad inferior).

Las particularidades del software también se han tenido en cuenta para el funcionamiento de la simulación. Los vuelos funcionan de manera diferente según sean salidas (de aviones que llegaron el día anterior y han pasado la noche en el aeropuerto), llegadas (aviones que llegan para pasar la noche allí) o salidas y llegadas a la vez.

El sistema lee una serie de variables del archivo .txt correspondiente a la operativa de ese día. A partir de ahí, genera tantas cargas como vuelos haya ese día, y les asigna, a cada una de ellas, unos atributos que corresponden a las variables que ha leído (número de vuelo, hora de llegada, hora de salida, posición de estacionamiento). Estas cargas se generan diez minutos antes de la hora programada de llegada; su punto de partida es donde los aviones toman tierra en la pista 25R. Se les dan, por lo tanto, diez minutos para que puedan rodar hasta su estacionamiento, tiempo suficiente para casi todos los rodajes.

Una vez han llegado a su puesto de estacionamiento, esperan a que llegue la hora programada de salida o lleguen todos los pasajeros de ese vuelo. Si llegan todos antes de hora, el avión sale antes de hora; si no, espera a los pasajeros durante un tiempo pasado la hora programada de salida. Pasado ese tiempo, el avión sale aunque falten algunos pasajeros. Si bien la puerta de embarque cierra diez minutos antes de esta hora, hay que tener en cuenta que, si un pasajero falta y ha facturado equipaje, este equipaje debe ser descargado antes de que salga el avión. De ahí que la simulación dé este margen, que corresponde a lo que se tarda en encontrar, y descargar, una maleta en la mayoría de los casos.

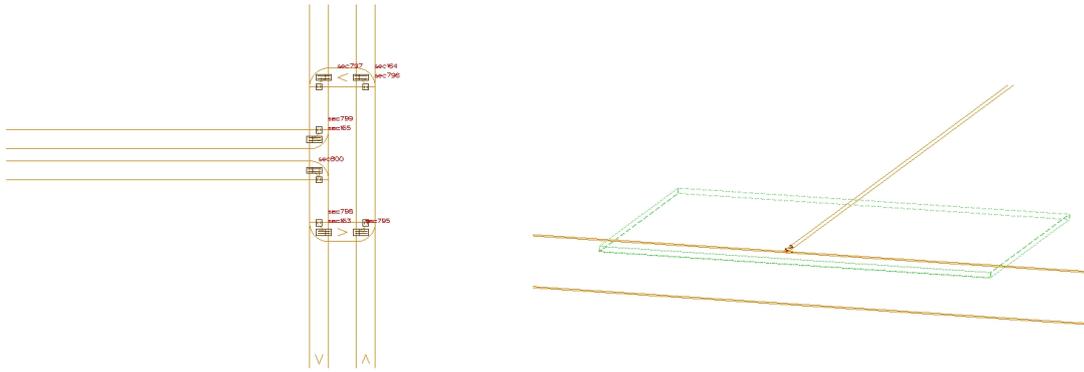


Figura 3.13. De izquierda a derecha, intersección modelada con cintas transportadoras entre dos calles de rodaje de doble sentido, y *block* o bloqueo en un cruce para evitar colisiones.

En todos los procesos, el programa vuelca los atributos de las cargas (número de vuelo, hora de llegada, tiempo de rodaje de llegada, hora de salida, tiempo de rodaje de salida y número de pasajeros final) en un fichero .txt, que luego se pasa a Excel mediante la interfaz.

Para que la operativa sea más realista, las cargas tienen forma de avión; el propio software ya incluye un fichero gráfico con esta forma, que se ha adaptado al tamaño deseado con una interfaz que viene incluida en el software; la misma con la que se han modelado los diferentes objetos del interior de la terminal.

Modelar el sistema con cintas transportadoras impone una serie de compromisos para que éste se parezca lo máximo posible a la realidad. Los giros a la izquierda, por ejemplo, no pueden hacerse uniendo dos cintas, ya que el software tiene su propia idiosincrasia.

Otro desafío importante ha sido la regulación del tráfico. Quizá la mayor diferencia de esta simulación con el funcionamiento real del aeropuerto es que, en el entorno simulado, no hay torre de control. La regulación del tráfico, por lo tanto, es automática, pero su objetivo es el mismo: impedir colisiones entre aviones. Para ello se ha actuado en dos campos: *blocks* o bloqueos y distribución del tráfico.

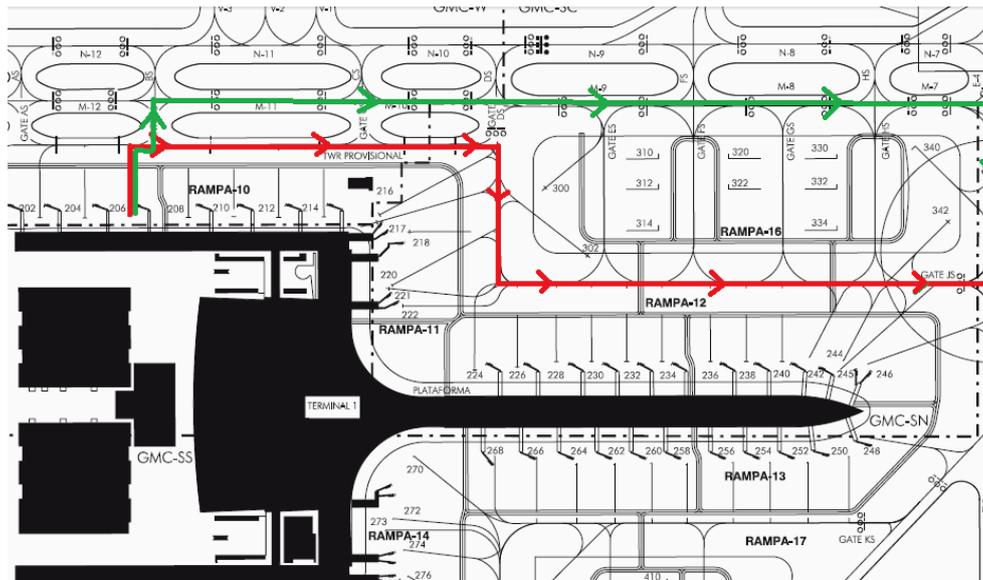


Figura 3.14. Ruta óptima sin conflictos en los retrocesos, en verde, y ruta conflictiva, en rojo. La ruta verde se ha priorizado asignándole un *navigation factor* más favorable.

Los primeros impiden que más de una carga entre un área determinada. Después de muchas pruebas, sólo se han considerado imprescindibles en las intersecciones más conflictivas, ya que los conflictos en el resto son muy poco frecuentes y las cargas esperan a tener el camino libre para entrar en él. En el segundo campo, se trataba de dar prioridad a unos itinerarios sobre otros. Por ejemplo, se ha inducido a las cargas a utilizar lo mínimo posible las calles de acceso a puestos de estacionamiento, intentando que la mayor parte del recorrido sea por las calles M y N, en el caso de las rampas situadas en el lado norte.

Dado que las cargas eligen por defecto el recorrido más corto hasta su destino, esto implica cambiar el *navigation factor* de las cintas en cuestión. A mayor *navigation factor*, mayor aversión a ese camino tienen las cargas.

Otro recurso que se ha utilizado de forma puntual para distribuir mejor el tráfico han sido las esperas. Al llegar al punto de espera de la pista de despegue, se obliga, por medio del código, a que las cargas esperen 90 segundos, tiempo suficiente para que, en caso de que haya un avión despegando en ese momento, la pista quede libre.

3.3 Interfaz

Uno de los objetivos de este trabajo ha sido que la simulación fuera modulable, es decir, adaptable a las necesidades del usuario final mediante una interfaz. De esta manera, no hacen falta conocimientos de programación para cambiar los parámetros según los cuales se ejecuta la simulación.

La interfaz se ha diseñado con una herramienta eficaz y muy popular para estos menesteres como es Visual Basic para Aplicaciones (VBA). A partir de los datos que se introducen en un libro de Excel, se crea, mediante macros, un archivo .txt que será leído después por AutoMod.

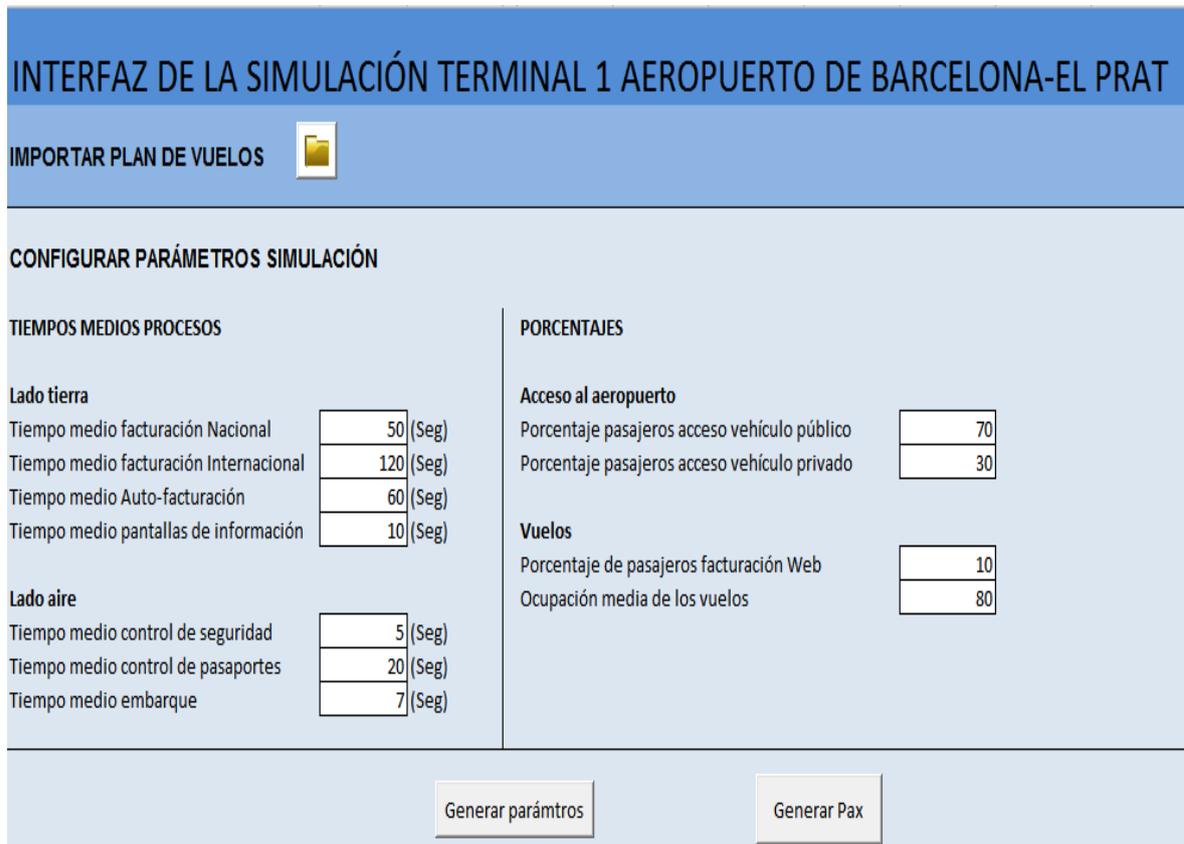


Figura 3.15. Menú principal de la interfaz.

Se generan unas curvas de presentación estándar, una para vuelos nacionales y otra para internacionales. Estas curvas se han creado a partir de los datos recogidos en el apartado 2 y los obtenidos de la operativa del SATE:

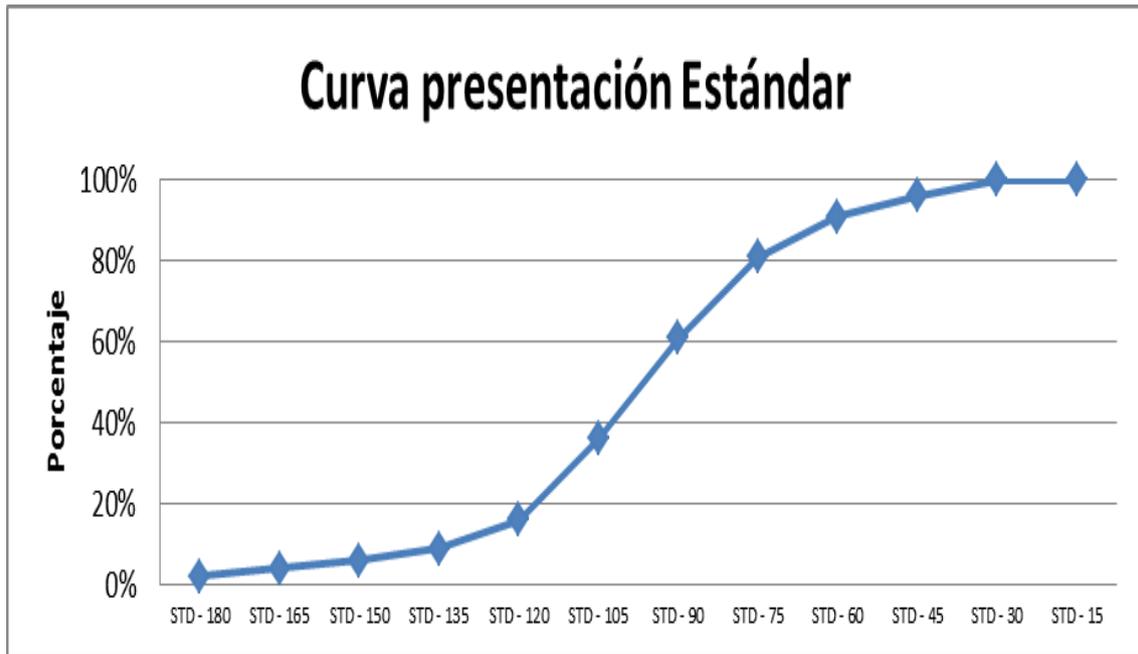


Figura 3.16. Curva de presentación estándar, vuelos Schengen o nacionales.

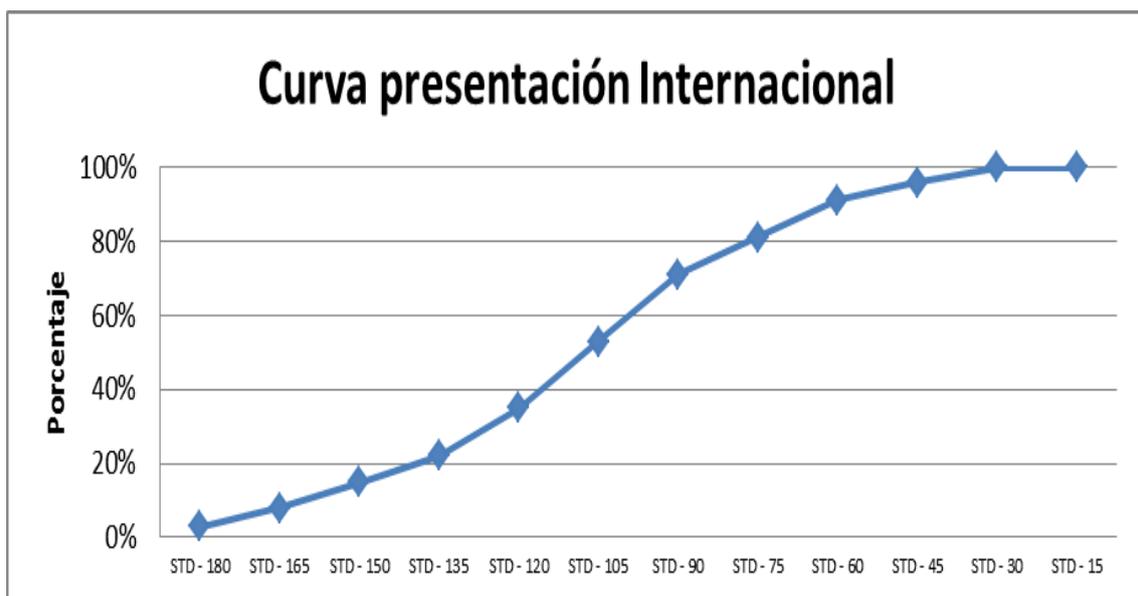


Figura 3.17. Curva de presentación estándar, vuelos no Schengen o internacionales.

En la misma interfaz se carga el plan de vuelos correspondiente al día que se quiere simular.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
13	EC-LRM	320	320	228	246	17/08/2012	VLG1670	7:45:00	9:15:00	SCQ	B67
14	EC-LQL	320	320	256	256	17/08/2012	VLG2010	4:35:00	4:35:00	GRX	B4E
15	EC-JFG	320	320	236	236	17/08/2012	VLG1001	5:00:00	5:00:00	MAD	B51
16	D-AIZE	320	320	266	266	17/08/2012	DLH1139	4:50:00	4:50:00	FRA	B2E
17	I-BDXE	321	321	272	272	17/08/2012	AZA075	4:25:00	4:22:00	FCO	C72
18	CS-TPC	100	100	280	280	17/08/2012	TAP1049	5:05:00	5:05:00	LIS	C77
19	EC-JCR	320	320	206	206	17/08/2012	VLG7711	4:30:00	4:15:00	DBV	D0E
20	D-AIPL	320	320	274	274	17/08/2012	DLH1819	4:15:00	5:00:00	MUC	C73
21	EC-LRZ	319	319	314	314	17/08/2012	VLG2469	5:10:00	5:10:00	NUE	A20
22	TC-JMJ	321	321	276	276	17/08/2012	THY1852	4:00:00	4:06:00	IST	E74
23	EC-LOP	320	320	204	204	17/08/2012	VLG3902	4:50:00	4:45:00	PMI	A0E
24	EC-LQM	320	320	246	246	17/08/2012	VLG6166	5:00:00	5:05:00	FCO	B67
25	EC-LRS	319	319	244	244	17/08/2012	VLG2485	5:30:00	5:25:00	EAS	B6S
26	EC-KLB	320	320	232	232	17/08/2012	VLG8025	5:20:00	5:20:00	ORY	B43
27	EC-KBU	320	320	252	252	17/08/2012	VLG6500	3:55:00	3:58:00	NAP	B5E
28	EC-HQJ	320	320	222	222	17/08/2012	VLG6400	5:00:00	4:52:00	VCE	A22
29	EC-KLT	320	320	226	226	17/08/2012	VLG2210	5:25:00	5:27:00	SVQ	B31
30	EC-KMI	320	320	254	254	17/08/2012	VLG3784	5:00:00	5:02:00	MAH	B52

Figura 3.18. Plan de vuelos. De izquierda a derecha, matrícula del avión, tipo de avión, posición de estacionamiento, fecha, número de vuelo, hora prevista de salida, hora real de salida, destino y puerta de embarque. Más a la derecha (no cabe en la captura) hay dos columnas con los mostradores de facturación.

Cuando se importa un plan de vuelos mediante la interfaz, esta además realiza un proceso interno de adaptación del mismo. El plan de operaciones es estandar del aeropuerto y contiene información tanto de vuelos de llegadas como de salidas, de ambas terminales (T1/T2), vuelos cancelados... esta adaptación desecha aquellos datos que no son necesarios o útiles y adapta algunos parámetros para que posteriormente la simulación pueda tramitar toda la información correctamente. Como el resto de la interfaz, esta función ha sido programada con VBA.

Al generar el archivo .txt con el plan de vuelos, la interfaz también genera una serie de identidades para los pasajeros a partir de un listado de nombres y apellidos combinado aleatoriamente. De esta manera, una vez la simulación está corriendo se puede identificar a los pasajeros clicando sobre ellos.

A partir del tipo de avión del plan de vuelos, se generan pasajeros suficientes para llenarlo combinando nombres y apellidos, de modo que cada vuelo tenga su listado de pasajeros.

3.4. Resultados

Para que los resultados de la simulación fueran representativos se ha decidido simular el periodo más intenso (hora punta) de un día con mucho tráfico. El día elegido ha sido el 17 de agosto de 2012, y la hora punta se desarrolla entre las 6 y las 10 de la mañana. También se han incluido las horas adyacentes para dar una visión más amplia del contexto. El total de pasajeros simulados ha sido 6.612.

3.4.1. Movimientos de pasajeros

Los parámetros introducidos en la simulación a través de la interfaz han sido los siguientes:

- Porcentaje de ocupación de los vuelos: 80%
- Tiempo medio de facturación, nacional: 90 segundos
- Tiempo medio de facturación, internacional: 120 segundos
- Tiempo medio de facturación, auto check-in: 40 segundos
- Tiempo medio de espera en monitores de información: 5 segundos
- Tiempo medio de control de seguridad (arco): 5 segundos
- Tiempo medio de fallo de control (arco): 5 segundos
- Tiempo medio de control de pasaportes: 20 segundos
- Tiempo medio de espera en monitores de información: 5 segundos
- Tiempo medio de embarque: 7 segundos

Se ha ejecutado la simulación y se han recogido los resultados en archivos .txt, que la interfaz ha pasado a gráficos. A continuación se muestran estos gráficos, correspondientes a los flujos en un punto determinado de la infraestructura en hora punta y al total de pasajeros que han pasado por un sitio en un intervalo determinado.

3.4.1.1. Llegada al aeropuerto: facturación, control de seguridad, control de pasaportes y embarque.

Se considera “tiempo de facturación” el tiempo entre el instante que el pasajero se encamina hacia el mostrador y el que sale de él con toda la documentación. Esto no es aplicable a los pasajeros que facturan online; sólo se tienen en cuenta los que facturan bien por facturación tradicional bien en las máquinas de auto check-in.

Llegada al aeropuerto

La siguiente gráfica muestra el reparto modal de las llegadas a la terminal 1.

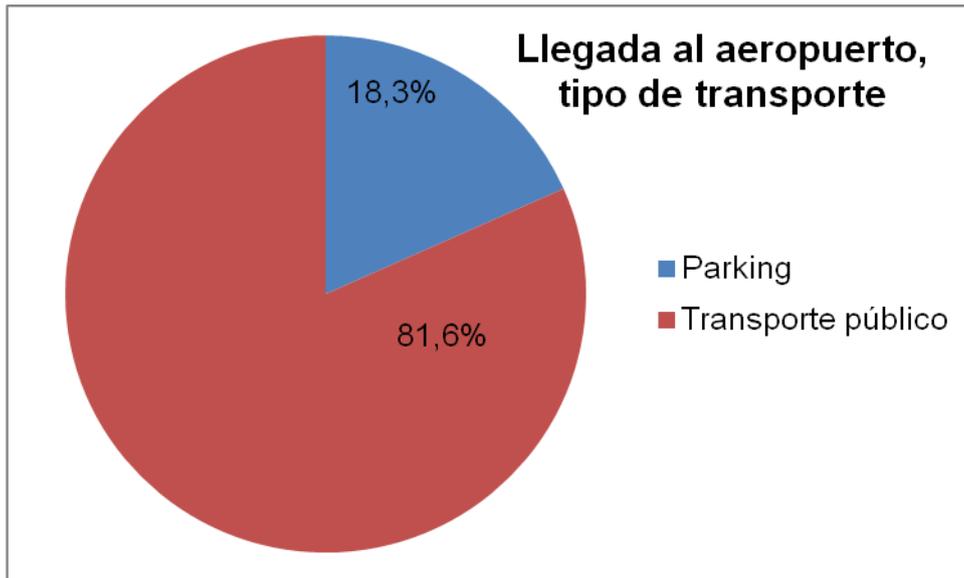


Figura 3.19. Reparto modal de la llegada a los pasajeros a la terminal, en porcentajes.

Facturación

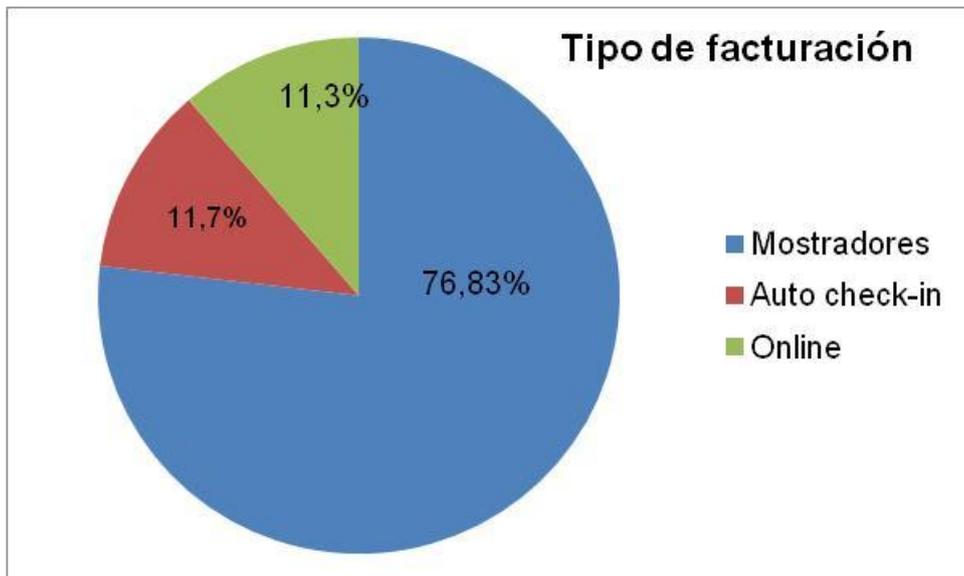


Figura 3.20. Tipos de facturación simulados, en porcentajes.

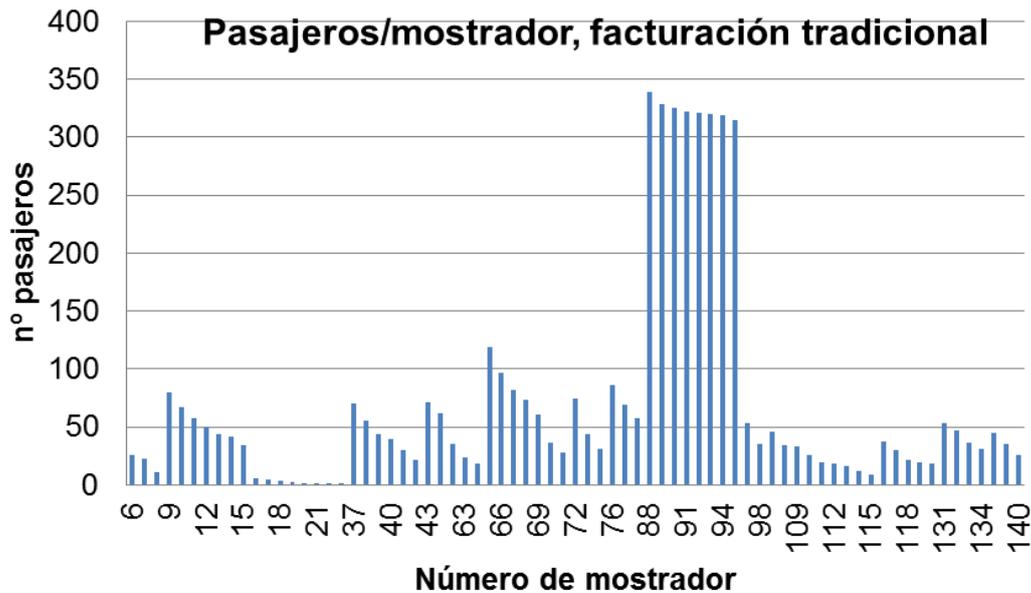


Figura 3.21. Utilización de los mostradores, en pasajeros totales.

Los picos en esta gráfica corresponden a los mostradores contratados por Vueling. Si bien en el plan de vuelos sólo aparecen dos, estos mostradores se van reservando dinámicamente según demanda. Otros mostradores están prácticamente vacíos ya que corresponden a vuelos en los que pocos pasajeros optan por la facturación tradicional; otros están vacíos del todo. Según cómo, esto indica que la capacidad se podría distribuir mejor, y que la facturación no tradicional está ganando terreno.

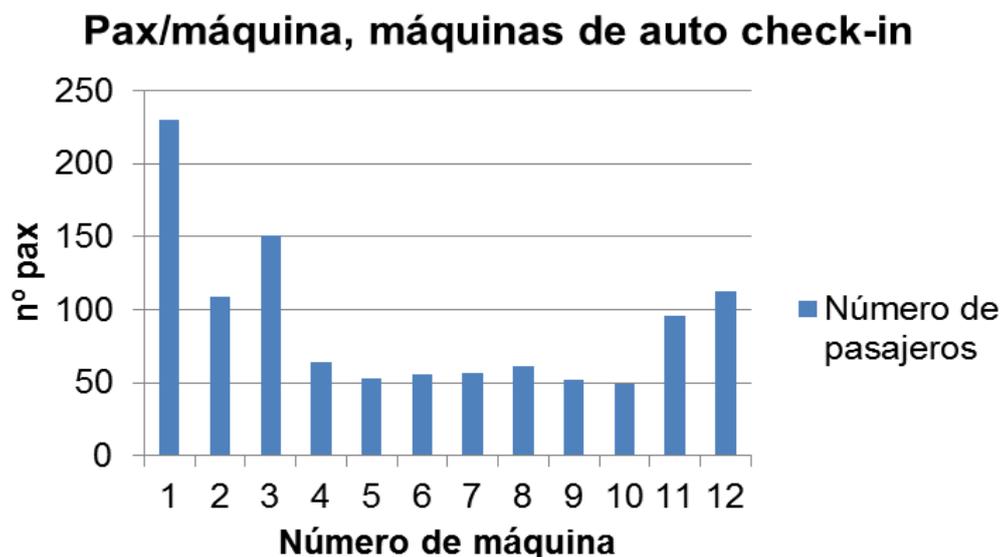


Figura 3.22. Utilización de las máquinas de auto check-in, en valores absolutos.

La situación más favorable de la máquina 1 respecto a la entrada hace que sea la más utilizada.

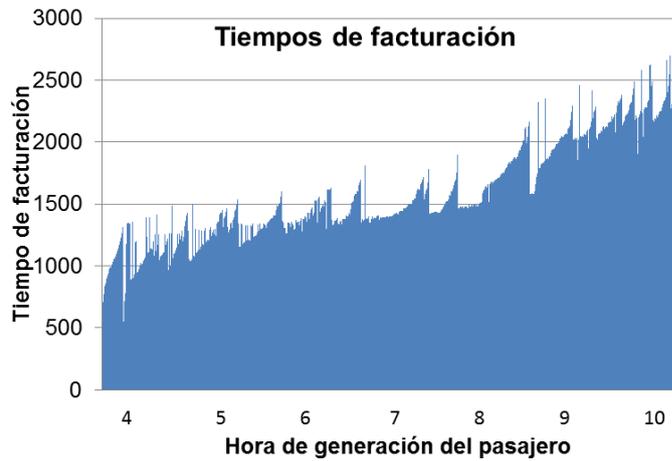


Figura 3.23. Tiempos de facturación por pasajero, según su hora de generación.

En la gráfica se aprecia un tiempo absoluto que va subiendo según el aeropuerto se va llenando y aparecen colas en los mostradores de facturación.

Control de seguridad

El algoritmo implementado para descongestionar los controles de seguridad se deja ver en los siguientes gráficos. Los filtros más próximos al acceso son los que se llenan antes, mientras que los más alejados tardan más en llenarse y se llenan menos. El throughput no supera en ningún caso los 5 pasajeros/minuto, algo lógico teniendo en cuenta el tiempo que los pasajeros necesitan para pasar el control. En el **Anexo V** se detallan los flujos de cada control individual.

Flujos de pasajeros, controles de seguridad

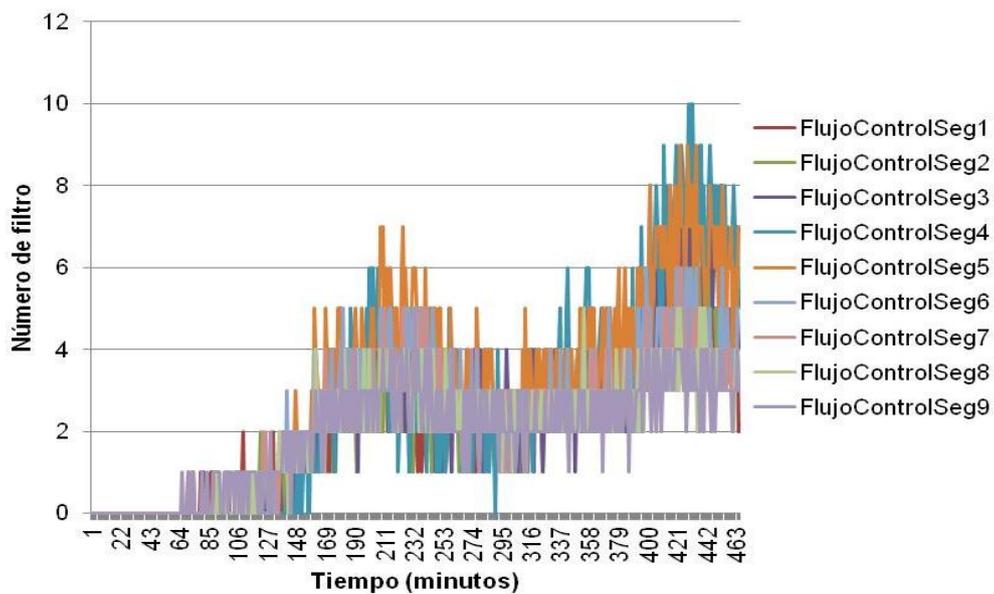


Figura 3.24. Flujos de pasajeros en los diferentes controles de seguridad.

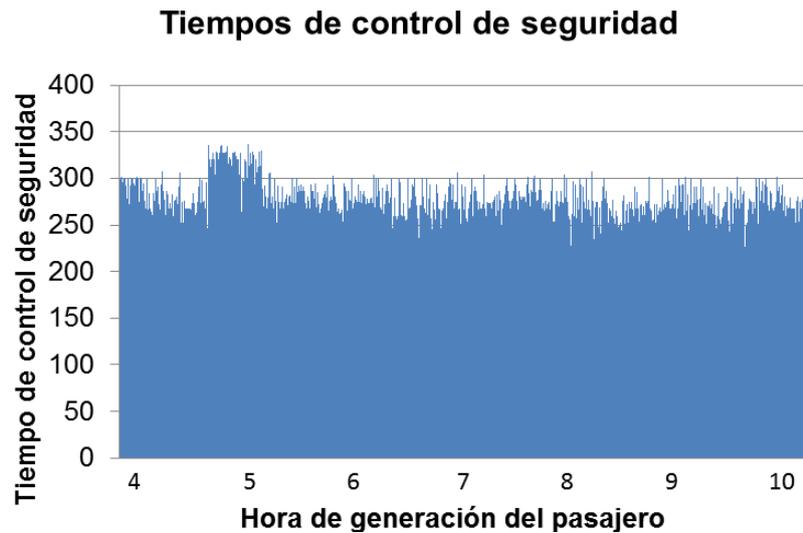


Figura 3.25. Tiempos de cruce de filtros de seguridad, según hora de generación del pasajero o carga.

Se ha tenido en cuenta que en un cierto número de casos los arcos se activan y los pasajeros tienen que volver a pasar el control. Son un porcentaje relativamente alto de los pasajeros:

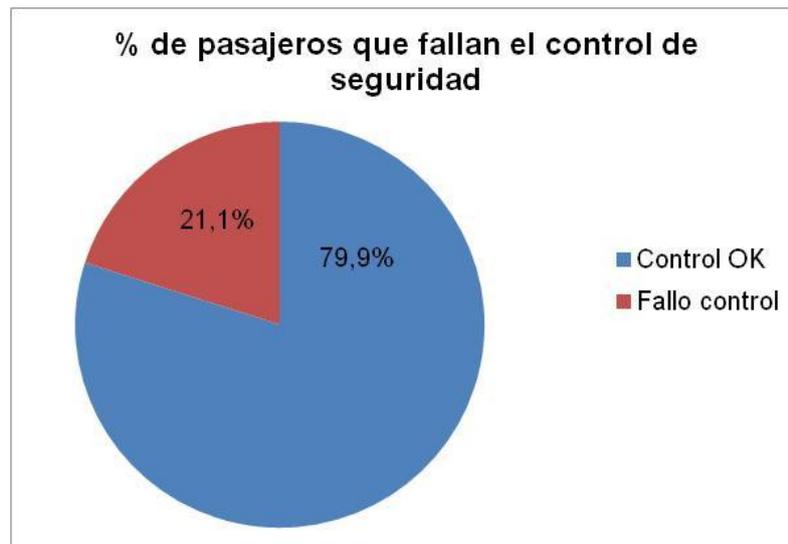


Figura 3.26. Pasajeros que fallan el control de seguridad, en porcentajes.

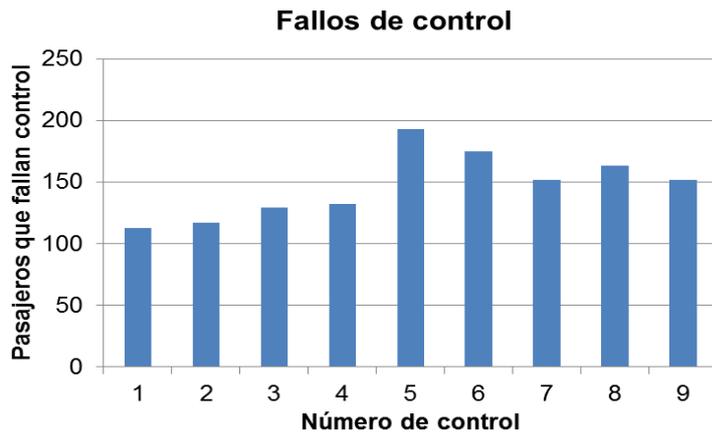


Figura 3.27. Fallos de inspección en cada control de seguridad.

El número de fallos de control de seguridad según filtro es francamente parecido; se han programado para que todos fallen aproximadamente el mismo número de veces. La dispersión se debe a que el número de fallos es aleatorio.

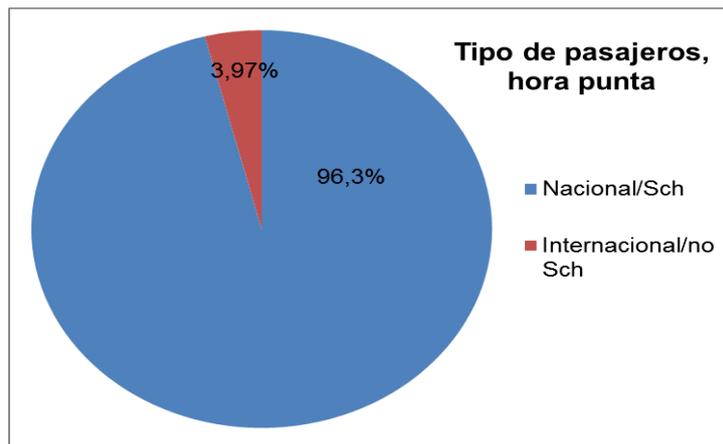


Figura 3.28. Distribución de pasajeros según destino Schengen/no Schengen.

El porcentaje de pasajeros que vuelan a destinos internacionales o no Schengen es bastante bajo, por lo que en la muestra de los tiempos empleados en cruzar el control de pasaportes hay menos resultados.

Control de pasaporte

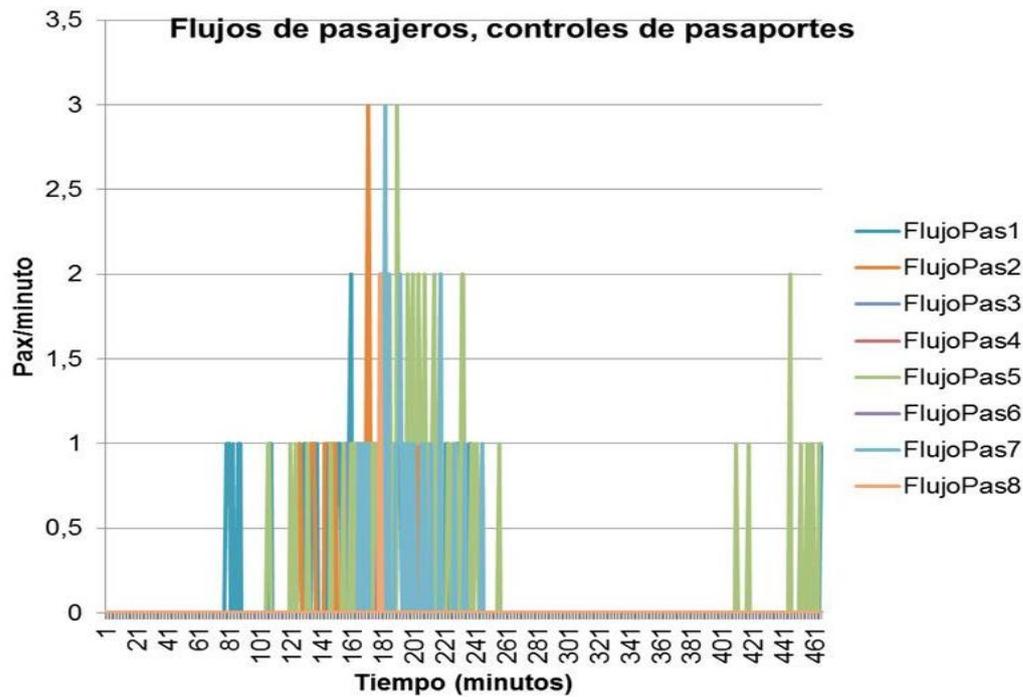


Figura 3.29. Flujos de pasajeros en los diferentes controles de pasaportes, superpuestos.

Como en el caso de los controles de seguridad, se aprecia que el flujo es muy alto en los controles más cercanos al acceso. Hay dos valles correspondientes a horas donde no hay vuelos internacionales, dado que la mayoría de la operativa en este aeropuerto es nacional o Schengen.

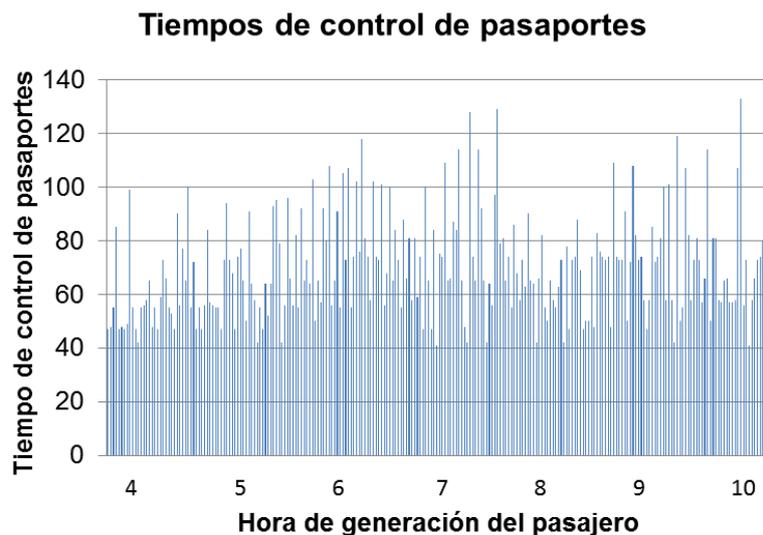


Figura 3.30. Tiempos de paso de los controles de pasaportes, según hora de generación del pasajero.

Embarque

Como en el caso de la facturación, el término “embarque” se refiere a todo el proceso del embarque. Aquí pueden darse dos casos:

- El pasajero llega cuando el embarque de su vuelo ya ha empezado
- El pasajero tiene que esperar a que su vuelo empiece a embarcar

Así, en el segundo caso los pasajeros se sientan en los asientos, y se empieza a contar el tiempo que pasan sentados. Cuando su embarque empieza, se cuenta, también, el tiempo que tardan en embarcar, tiempo que también se contabiliza en el primer caso.

Uso de puertas de embarque, hora punta

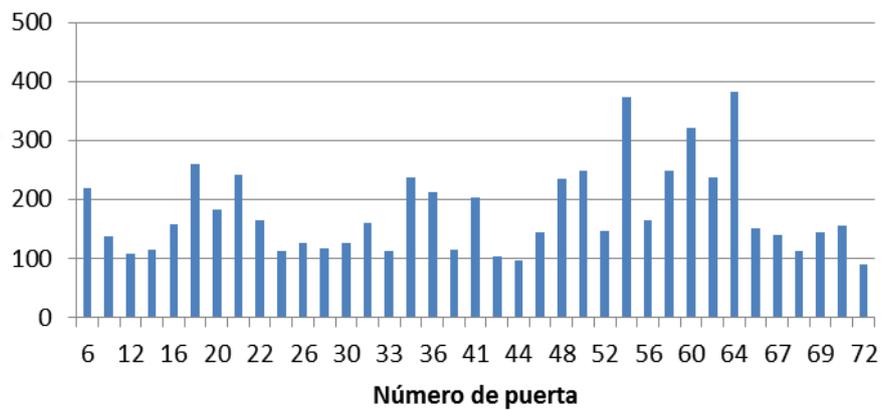


Figura 3.31. Flujos de pasajeros en las diferentes puertas de embarque, en términos absolutos.

Esta gráfica deja patente que no todas las puertas se utilizan igual; las aerolíneas pugnan por las más utilizadas, mientras que otras (las más alejadas) se utilizan para vuelos menos relevantes.

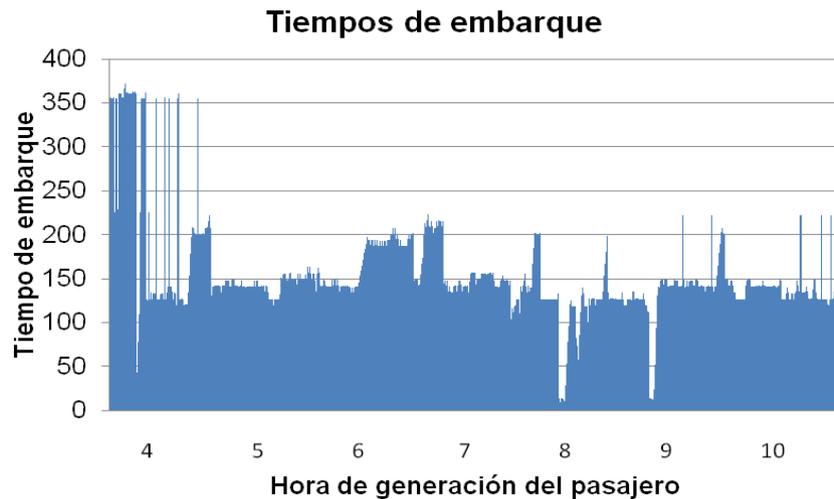


Figura 3.32. Tiempos de embarque de los pasajeros según hora de generación del pasajero o carga.

En esta gráfica se aprecia que los primeros tiempos de embarque son bastante elevados, ya que a las 4 de la mañana no hay todavía vuelos y los primeros pasajeros que llegan a las puertas tienen que esperar un tiempo hasta que se abran las puertas. Los valles corresponden a pasajeros que llegan a su vuelo mientras está embarcando. Esto se debe a que son vuelos que embarcan al final de la espada, y los pasajeros pierden mucho tiempo en llegar a las puertas.

3.3.2 Movimientos de aeronaves

En el apartado de movimientos de aeronaves los datos más relevantes han sido los tiempos de rodaje (para compararlos con los obtenidos en la toma de datos y así comprobar que la simulación era fiel a la realidad) y el número de aviones que *no* ha salido con todo el pasaje a bordo. De esta manera, se puede saber cuántos aviones han tenido que esperar a un pasajero, o lo que es lo mismo, qué incidencia tienen en el desarrollo de la operativa los pasajeros que, por algún u otro motivo, llegan tarde a, o pierden, su vuelo.

3.3.2.1. Tiempos de rodaje

Como ya se ha explicado en el punto 1.2, el rodaje a la salida de un vuelo es mucho más largo que a su llegada, debido a que en la mayoría de salidas está implicado un retroceso o “push-back” con puesta en marcha. La simulación corrobora esto. En la **figura 3.33** se aprecia una gran dispersión en los tiempos de rodaje correspondientes a salidas, ya que 1) el aeropuerto es muy grande y 2) algunas salidas (en remoto) no necesitan “push-back”; en el caso de los puestos de estacionamiento más cercanos a la pista de despegue (4xx), el rodaje es realmente corto. De ahí que algunos aviones despeguen en poco más de cinco minutos desde la hora de salida de calzos, mientras que otros tardan veinte (caso de vuelos estacionados en el dique norte).

En el caso de las llegadas la dispersión es menor, aunque se aprecia que los vuelos estacionados en la parte sur del aeropuerto están ligeramente por encima del resto, ya que el recorrido que tienen que hacer para llegar a su posición es más largo.

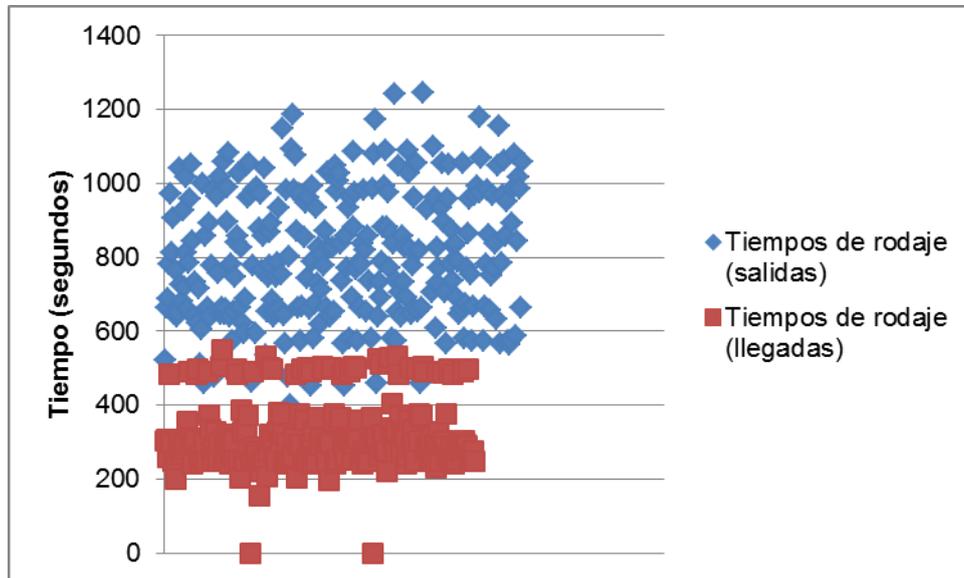


Figura 3.33. Tiempos de rodaje, salidas y llegadas.

CAPÍTULO 4 .CONCLUSIONES

Hacer que el funcionamiento del sistema sea significativamente parecido al del aeropuerto real ha requerido mucho trabajo y dedicación, ya que el software es, al fin y al cabo, una herramienta muy básica que hay que adaptar intensivamente a cada simulación. El resultado final es una simulación viva, que se adapta a las necesidades del usuario final sin cambiar su estructura básica. Responde, por lo tanto, al objetivo inicial del trabajo, que era crear una herramienta capaz de recrear infinitos escenarios según convenga.

Ejecutando la simulación, se aprecia que la principal diferencia con el desarrollo de los procesos reales es que las cargas o pasajeros no pueden moverse libremente por la terminal, ya que las cintas transportadoras limitan mucho los movimientos. Sin embargo, redundando cintas y modelando múltiples intersecciones se ha conseguido darle a las cargas una libertad de movimientos más cercana a la realidad. En este sentido, también hay que reseñar que el software envía las cargas por el camino más corto, no necesariamente el menos congestionado. Esto se ha mitigado en la medida de lo posible con el mencionado *navigation factor*, pero sigue estando presente en los resultados de la simulación (más congestión). Es, también, un problema relativo, ya que cambiando los parámetros que se entran en la interfaz se puede reducir esta congestión.

Las gráficas extraídas son muy numerosas, y podrían extraerse muchos más datos sin hacer cambios importantes en el programa. En este sentido, la flexibilidad del software utilizado permite modelar más puntos de control y medir más tiempos sin necesidad de cambiar el modelo. Es gracias a estas gráficas que se aprecia un funcionamiento muy parecido al real: los tiempos de rodaje de las aeronaves son, por ejemplo, casi calcados a los que se han medido en la vida real, así como los tiempos de cruce de los diferentes filtros.

Por último, habría que mencionar otro hecho que da sentido a una simulación de estas características, y es la posibilidad de ver como algunos procesos, que por separado no presentan problemas, influyen entre ellos, crean congestión donde antes no podía haber e impiden el correcto funcionamiento de otros. Es por eso que la simulación de los distintos procesos debe ser integral y no se pueden analizar por separado. Este punto podría haber pasado desapercibido de representar un escenario con menos complicaciones (por ejemplo, una tarde de invierno), pero precisamente por eso, para darle sentido a la integración y llevar la simulación al límite, se ha escogido uno de los días con mayor tráfico del aeropuerto.

Volviendo a lo que se ha comentado en la introducción, la simulación es una herramienta que permite ver e influenciar, en un entorno controlado, diferentes procesos para ensayar soluciones a los problemas, y durante esta simulación en particular se han visto, y se ha actuado sobre, procesos de gran complejidad que sería imposible ensayar en vivo.

CAPÍTULO 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] International Air Transport Association, “Airport Development Reference Manual”, 8th Edition, IATA, Montreal-Geneva, pp. 295-302 (1995)
- [2] Organización de la Aviación Civil Internacional, “Convención de Chicago”, Anexo 14, “Aeródromos”, Volumen I, 5ª Edición (2009)
- [3] Dirección General de Aviación Civil, “Plan director del Aeropuerto de Barcelona”, p. 10, Madrid, 1999
- [4] AIP España – LEBL 1, WEF 20-SEP-12, Aena, 2012
- [5] AIP España – Plano de estacionamiento y atraque de aeronaves-OACI (LEBL 2.1), WEF-17-NOV-11, Aena, 2011
- [6] AIP España – Plano de aeródromo para movimientos en tierra-OACI (LEBL GMC 1.2), WEF-17-NOV-11, Aena, 2011