

PROYECTO FINAL DE GRADO

Estudio y simulación sobre el
procedimiento de emergencia en aviones
de doble pasillo

MEMORIA

Grado: Gestión Aeronáutica
Autor: José Manuel Martín Mangas
Director: Dr. Román Buil Giné

Febrero 2014



El firmante, Roman Buil Giné

Profesor de la Escola d'Enginyeria de la UAB,

CERTIFICA:

Que el trabajo al que corresponde esta memoria ha sido realizado bajo su dirección por José Manuel Martín Mangas.

Y para que así conste firma la presente.

Firmado:

Sabadell, 28 de Febrero de 2014

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, debo expresar mi gratitud a todas las personas que me han apoyado y motivado durante los estudios. Entre ellos especialmente a mi familia, por enseñarme a ser perseverante. A Miriam, por su paciencia y su apoyo incondicional en todo lo que hago. A la pequeña Ariadna, por hacerme sonreír y hacer más amenos los momentos difíciles.

A mi profesor y director de proyecto Dr. Román Buil Giné del Dpto. de Telecomunicaciones e Ingeniería de Sistemas, por su paciencia, interés y seguimiento en este último trabajo.

Finalmente a todos los profesores y compañeros de carrera, con los que he compartido grandes momentos durante estos años, dentro, y fuera de las aulas.

RESUMEN

“Señores pasajeros, tienen 90 segundos para salir del avión”

Un minuto y medio. 90 segundos. Un anuncio de Coca-Cola.

Ese es el tiempo del que disponemos para evacuar un avión si fuera necesario, después de un aterrizaje de emergencia.

Independientemente del número de pasajeros que haya. Da igual si es de día o de noche. No importa si la mitad de las salidas de emergencia están inoperativas. El avión debe ser evacuado completamente en menos de 90 segundos.

El transporte de personas y carga por aire está considerado uno de los medios de transporte más seguro que existe actualmente. A pesar de ello, y debido al gran volumen de tráfico aéreo que se produce a escala mundial diariamente, resulta inevitable la aparición de situaciones de riesgo en las que se requiere proceder a una evacuación de emergencia. En estas situaciones, el cumplimiento de la normativa y la preparación de la tripulación constituyen aspectos fundamentales para que este tipo de situaciones se resuelvan exitosamente, ya que de ello depende la supervivencia de las personas a bordo de la aeronave.

Para garantizar este nivel de seguridad, los aviones destinados al transporte de pasajeros deben pasar satisfactoriamente lo que se conoce como ensayo de evacuación. Este consiste en obtener el tiempo que se tarda en evacuar completamente una aeronave a escala real, con pasajeros auténticos y eligiendo al azar el número de puertas bloqueadas, entre otras de las condiciones que establece la normativa para el ensayo. En cualquier caso, para obtener la certificación, el tiempo máximo de evacuación será de 90 segundos.

Resulta fácil imaginar las limitaciones que esta prueba puede llegar a suponer para las partes interesadas, tanto por su elevado coste, como por el peligro que pueda entrañar a las personas que participan como figurantes. Por ello, en este proyecto se presenta la posibilidad de analizar datos de este procedimiento a través de la simulación computacional.

En el contexto de emergencia en un avión, donde la variable tiempo es la protagonista, cobran especial importancia los pasajeros que por algún tipo de limitación, puedan llegar a incurrir en retrasar dicho tiempo, a estas personas se les denomina pasajeros con movilidad reducida (PMR).

En este estudio, se simulan diferentes situaciones de emergencia que pueden dejar bloqueadas determinado número de salidas de emergencia, así como trabajar con diferentes configuraciones de pasajeros de movilidad reducida. Con los factores tiempo, puertas bloqueadas y capacidad de pasajeros PMR, se desarrolla un modelo que simula un sistema de evacuación en aviones de doble pasillo, para así, poder extraer conclusiones sobre diferentes hipótesis de trabajo.

Este método puede suponer una buena herramienta para recrear situaciones que de forma real no sería viable hacer y, con ello analizar diferentes situaciones en las cuales la premisa fundamental es la seguridad del vuelo y la de los pasajeros.

Disponer de estudios sólidos basados en simulación referentes a este procedimiento puede contribuir a una ayuda en la toma de decisiones para ingenieros, técnicos y demás personas o agentes involucrados en el sector aéreo.

RESUM

“Senyors passatgers, disposen de 90 segons per sortir de l’avió”

Un minut i mig. 90 segons. Un anunci de Coca-Cola.

Aquest és el temps del que disposem per evacuar un avió en cas necessari, després d’un aterratge d’emergència.

Independentment del nombre de passatgers que hi hagi. Dona igual si es de dia o de nit. No importa si la meitat de les sortides d’emergència es troben inoperatives. L’avió s’ha d’evacuar completament en menys de 90 segons.

El transport de persones y càrrega per aire està considerat com un dels mitjans de transport més segurs que n’hi ha actualment. Malgrat i això, degut al gran volum de tràfic aeri que es produeix a escala mundial diàriament, resulta inevitable l’aparició de situacions de risc en les quals es requereix procedir a una evacuació d’emergència. En aquestes situacions, el compliment de la normativa i la preparació de la tripulació constitueixen aspectes fonamentals per a que aquest tipus de situacions es resolguin amb èxit, ja que d’això depèn la supervivència de les persones a bord de l’aeronau.

Per garantir aquest nivell de seguretat, els avions destinats al transport de passatgers han de superar satisfactòriament el que es coneix com assaig d’evacuació. Aquest consisteix en obtenir el temps que es triga en evacuar completament una aeronau a escala real, amb passatgers autèntics i triant a l’atzar el nombre de portes bloquejades. En qualsevol cas, per obtenir la certificació, el temps màxim d’evacuació serà de 90 segons.

Resulta fàcil imaginar les limitacions que aquesta prova pot arribar a suposar per a les parts interessades, tant per l’elevat cost, com per el perill que pot suposar a les persones que hi participen com ha figurants. Per això, en aquest projecte es presenta la possibilitat d’analitzar dades d’aquest procediment mitjançant la simulació computacional.

En el context d’emergència en un avió, on la variable temps es la protagonista, cobren especial importància els passatgers que per algun motiu de limitació, poden arribar a incórrer en retardar aquest temps, aquestes persones són denominades com a passatgers de mobilitat reduïda.

A aquest estudi, es simulen diferents situacions d’emergència que poden deixar bloquejades determinat nombre de sortides d’emergència, així com treballar amb diferents configuracions de passatgers amb mobilitat reduïda. Amb els factors temps, portes bloquejades i capacitat de passatgers PMR, es desenvolupa un model que simula un sistema d’evacuació a avions de doble passadís, per així, poder extreure conclusions sobre diferents hipòtesis de treball.

Aquest mètode, pot suposar una bona eina per representar situacions que de forma real no seria viable de fer i, amb això analitzar diferents situacions on les quals la premissa fonamental es la seguretat del vol i dels passatgers.

Disposar d’estudis sòlids basats en simulació referents a aquest procediment pot contribuir a l’ajuda en la presa de decisions per a enginyers, tècnics i demés persones o agents involucrats al sector aeri.

ABSTRACT

“Dear passengers, have 90 seconds to leave the plane”

A minute and a half. 90 seconds. An ad for Coca- Cola.

That is the time we have a plane to evacuate if necessary, after an emergency landing.

Regardless of how many passengers there. No matter whether it is day or night. No matter if half of the emergency exits are inoperative. The aircraft must be fully evacuated within 90 seconds.

The transport of people and cargo by air is considered one of the safest means of transportation available today. However, due to the large volume of air traffic occurs worldwide every day, it is inevitable the occurrence of risk situations in which it is required to proceed to an emergency evacuation. In these situations, the compliance and the preparation of the crew are key aspects to this type of situation were successfully resolved, since it depends on the survival of people aboard the aircraft.

To ensure this level of security, aircraft designed to carry passengers must successfully pass what is known as evacuation test. This is to get the time it takes to completely evacuate an aircraft full scale, with real passengers and randomly selecting the number of locked doors, among other conditions set by law for the trial. In any case, to obtain certification, the evacuation time is 90 seconds.

It is easy to imagine the limitations that this test potentially poses for stakeholders, both for its high cost, as it may present a danger to those involved as extras. Therefore, in this project the ability to analyze data from this procedure through computer simulation is presented.

In the context of emergency in an airplane, where the time variable is the protagonist, are particularly important passengers by any limitations, can reach incurring delay this time, these people are called passengers with reduced mobility (PRM).

In this study, different emergency situations that may leave certain number of blocked emergency exits are simulated as well as working with different configurations of passengers with reduced mobility. With the factors of time, locked doors and passenger capacity PMR, a model that simulates an evacuation system in twin-aisle aircraft, thus, able to draw conclusions about different working hypothesis is developed.

This method can be a good tool to recreate real situations that would not be feasible to do so and thereby analyze different situations in which the basic premise is the safety of the flight and the passengers.

Have robust simulation -based studies concerning this procedure can help to aid in decision making for engineers, technicians and other persons or agents involved in the aviation sector.

ÍNDICE GENERAL

LISTA DE TABLAS.....	9
LISTA DE FIGURAS.....	10
ACRÓNIMOS.....	12
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	13
1.2. TRABAJOS PREVIOS.....	14
1.3. ESTADO DEL ARTE.....	14
1.4. OBJETIVOS	15
1.4.1. Objetivo general.....	15
1.4.2. Objetivos específicos	15
1.5. RIESGOS DEL PROYECTO	15
1.5.1. Evaluación de los riesgos.....	15
1.5.2. Catalogación de los riesgos.....	16
1.5.3. Plan de contingencia	16
1.6. PLANIFICACIÓN TEMPORAL.....	17
1.7. ALCANCE Y LIMITACIONES.....	19
1.8. TEMARIO Y METODOLOGÍA	19
CAPÍTULO 2. SIMULACIÓN.....	20
2.1. INTRODUCCIÓN	20
2.2. HISTORIA	21
2.3. MODELO EN SIMIO	22
2.3.1. Objetos y su jerarquía	23
CAPÍTULO 3. EMERGENCIA	25
3.1. INTRODUCCIÓN	25
3.2. NORMATIVA	25
3.2.1. Regulación	25
3.2.2. Historia de las normativas de evacuación.....	26
3.3. PROCEDIMIENTO DE EMERGENCIA.....	28
3.3.1. Evacuación.....	30
3.3.2. Evacuación en tierra.....	31
CAPÍTULO 4. TEORÍA DEL MODELO.....	34
4.1. AVIÓN.....	34
4.1.1. Introducción	34
4.1.2. Tipos de aviones	35
4.1.3. Fuselaje	36
4.1.3.1. <i>Fuselaje estrecho Airbus</i>	38
4.1.3.2. <i>Fuselaje estrecho Boeing</i>	39
4.1.3.3. <i>Fuselaje ancho Airbus</i>	40
4.1.3.4. <i>Fuselaje ancho Boeing</i>	41
4.1.4. Modelo avión propuesto.....	41

4.2. PERSONAS	44
4.2.1. Introducción	44
4.2.2. On board.....	44
4.2.2.1. <i>Tripulación de vuelo</i>	45
4.2.2.2. <i>Tripulación auxiliar de cabina</i>	45
4.2.3. Pasajeros	46
4.2.3.1. <i>Pasajeros con necesidades especiales</i>	47
4.2.3.2. <i>Pasajeros con movilidad reducida</i>	48
4.3. MOVIMIENTO DE LOS HUMANOS.....	49
4.3.1. Introducción	49
4.3.2. Movimientos en el procedimiento.....	50
4.3.2.1. <i>Paso de sedestación a bipedestación</i>	51
4.3.2.2. <i>Bipedación</i>	51
4.3.2.3. <i>Salto al tobogán</i>	53
4.3.2.4. <i>Deslizamiento por el tobogán</i>	54
4.3.3. Estimación de tiempos	55
CAPÍTULO 5. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO EN SIMIO	57
5.1. INTRODUCCIÓN	57
5.2. CREACIÓN DE OBJETOS PERSONALIZADO	57
5.3. SUBMODELO AVIÓN.....	57
5.4. ENTIDADES (PASAJEROS).....	60
5.5. PROCESOS	66
5.6. OTROS OBJETOS.....	68
CAPÍTULO 6. EXPERIMENTOS EN SIMIO.....	72
6.1. INTRODUCCIÓN	72
6.2. ANÁLISIS DE LOS TIEMPOS.....	73
6.2.1. Comportamiento de t en función % PMR.....	73
6.2.2. Comportamiento de t en función % de puertas operativas.....	74
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES	76
REFERENCIAS	78

Lista de Tablas

Tabla 1.1: Catalogación de los riesgos	16
Tabla 1.2: Contingencias	17
Tabla 4.1: Carga transportada por tipo de avión	36
Tabla 4.2: Especificaciones Airbus A340-300	42
Tabla 4.3: Relación número de acompañantes /número de menores	47
Tabla 4.4: Tiempos estimados	55
Tabla 4.5: Relación pasajeros/tempos	55
Tabla 5.1: Detalle de las secciones que componen el avión.....	58
Tabla 5.2: Configuración propuesta por las autoridades	60
Tabla 6.1.: Resultados tiempo medio	72
Tabla 6.2.: Resultados tiempo de cada test parcial.....	73
Tabla 6.3.: Resultados incremento del tiempo	73
Tabla 6.4.: Resultados con 8 y 6 puertas operativas.....	74
Tabla 6.5.: Resultados con 8 y puertas operativas	74
Tabla 6.6.: Resultados con 6 y 4 puertas operativas.....	75

Lista de Figuras

Figura 1.1: Programación inicial.....	18
Figura 1.2: Diagrama de Gantt inicial.....	18
Figura 2.1: Clases de Objetos en Simio	23
Figura 3.1: Posición de protección ante un impacto	28
Figura 3.2: Ilustración salidas de emergencia	33
Figura 4.1: Aeroplano hermanos Wright.....	35
Figura 4.2: Estructura general del avión	37
Figura 4.3: Mapa de asientos típico del Airbus A320-100	39
Figura 4.4: Mapa de asientos típico del Boeing 737-800.....	39
Figura 4.5: Mapa de asientos Airbus A300.....	40
Figura 4.6: Mapa de asientos Boeing 747	41
Figura 4.7: Estructura Airbus A340-300.....	42
Figura 4.8: Interior Airbus A340-300 conf 3 clases.....	43
Figura 4.9: Esqueleto humano.....	50
Figura 4.10: Paso de sedestación a bipedestación.....	51
Figura 4.11: Bipedación	52
Figura 4.12: Salto al tobogán	53
Figura 4.13: Deslizamiento por el tobogán	54
Figura 5.1: Estructura avión Airbus A340 de Simio.....	58
Figura 5.2: Sección 1 del modelo.....	59
Figura 5.3: Detalle nomenclatura de asientos	59
Figura 5.4: Hoja de configuración Excel	60
Figura 5.5: Detalle opción seleccionar capacidad entidad 6	61
Figura 5.6: Detalle archivo Table4.....	62
Figura 5.7: Detalle Table1 simio.....	63
Figura 5.8: Process1	64
Figura 5.9: Proceso ubicación pasajeros	64
Figura 5.10: Detalle animación pasajeros tipo 1, 2,3	65
Figura 5.11: Detalle animación pasajeros tipo 4, 5, 6.....	66
Figura 5.12: Proceso destí	66
Figura 5.13: Proceso levantar.....	67
Figura 5.14: Proceso saltar	67
Figura 5.15: Contadores Simio	68

Figura 5.16: Imagen instante simulación	69
Figura 5.17: Imagen instante simulación interior avión.....	69
Figura 5.18: Imagen instante simulación pasajeros saliendo por salida emergencia	70
Figura 5.19: Imagen instante simulación pasajeros corriendo a zona seguridad	70

Acrónimos

Acron.	Expresión inglesa	Expresión española
TCP	-----	Tripulante cabina de pasajeros
IVAO	International virtual aviation organisation	Organización internacional de aviación virtual
AFM	Aircraft flight manual	Manual de vuelo de la aeronave
RAC	-----	Reglamento circulación aérea
OPS	Operational performance systems	Sistema de actuación de operaciones
PIC	Pilot in command	Piloto a los mandos
OACI	-----	Organización aviación civil internacional
IATA	International air transport association	Organización aviación civil internacional
FAA	Federal administration aviation	Administración federal de aviación
PMR	Reduced mobility passengers	Pasajero de Movilidad reducida

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción General

La simulación es una herramienta de ayuda a la toma de decisiones en sectores que debido al impacto producido por sus posibles consecuencias requieren de su utilización.

La simulación ha probado ser de gran ayuda para resolver problemas en los campos de la manufactura, la logística y aplicaciones militares. Sin embargo, en el sector aéreo, debido a su peculiaridad en lo referente a materia de seguridad, a día de hoy, no se utiliza como herramienta de ayuda en la toma de decisiones, concretamente en lo referido al simulacro del procedimiento de emergencia que se hace necesario para la obtención del certificado de aeronavegabilidad para aviones de transporte de pasajeros.

Actualmente, para garantizar determinados niveles de seguridad en los aviones destinados al Transporte Público de pasajeros es necesario pasar de forma satisfactoria un ensayo de evacuación. Este consiste en obtener el tiempo que se tarda en evacuar completamente una aeronave a escala real, con pasajeros auténticos y eligiendo al azar el tipo de emergencia que pudiese ser la causa de la evacuación con las limitaciones que eso conlleva, entre otras condiciones que establece la normativa para el ensayo. En cualquier caso, para obtener la certificación el tiempo máximo permitido de evacuación será de 90 segundos.

Debido a la importancia y la rigidez de la normativa en este sector la simulación computacional a día de hoy no puede sustituir el simulacro real, asumiendo así las partes afectadas el elevado coste que conlleva el proceso. Aún así, si puede ser de gran ayuda para las compañías aéreas a la hora de entrenar a sus tripulaciones en cómo actuar ante un aterrizaje de emergencia o en tratar de entender qué pasaría si se bloquean un determinado número de puertas y todos los pasajeros deben ser evacuados en el tiempo establecido.

En este contexto, donde el factor más importante es el tiempo, toman especial relevancia los pasajeros catalogados como de movilidad reducida, debido a la limitación que presentan. Es objeto de este estudio trabajar con diferentes experimentos en función de la capacidad de dichos pasajeros en el marco presentado hasta ahora.

Disponer de estudios sólidos basados en simulación referentes al procedimiento de evacuación en aviones de Transporte Público de Pasajeros contribuye una ayuda en la toma de decisiones para ingenieros, técnicos y demás personas involucradas en el sector aéreo. Estos fundamentos pueden ser una buena herramienta para recrear diferentes situaciones que de forma real no sería viable hacer y, con ello desarrollar un procedimiento eficiente en el cual la premisa fundamental es la seguridad de los pasajeros.

1.2. Trabajos Previos

- ❖ José Manuel Hedo Rodríguez, “*Modelización computacional del ensayo de evacuación de emergencia de aviones de transporte*”, Tesis doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, Enero de 2009.

En esta tesis doctoral, el doctorante desarrolla una herramienta de simulación que puede substituir parcialmente el ensayo de evacuación de emergencia al que las empresas constructoras de aeronave deben someterse para obtener el certificado de aeronavegabilidad para sus aeronaves.

La herramienta de simulación por ordenador propuesta se llama ETSIA (*Evacuation Test Simulation Algorithm*) y utiliza *NetLog*, que es un lenguaje de programación multiagente y entorno integrado de modelización.

El entorno de desarrollo de esta tesis está focalizado en aviones de fuselaje estrecho, es decir de pasillo único.

1.3. Estado del arte

La obtención de los certificados necesarios para que una aeronave pueda cumplir con el objetivo para el cual ha sido diseñada es un proceso largo y costoso. La peculiaridad del entorno en el cual se desenvuelve este medio hace que la normativa en ámbitos de seguridad sea mucho más estricta que en otros medios. La realización de modelos y la utilización de algún software adecuado para la simulación del mismo podrían permitir representar situaciones que de forma real por coste, tiempo y seguridad sería imposible realizar. Todo ello, permitiría realizar estudios sobre situaciones hipotéticas o que desafortunadamente en algún momento podrían ocurrir, y con ello, a través del conocimiento aportado por los datos tomar decisiones a diferentes niveles en materia de seguridad.

Existen actualmente multitud de programas que permiten recrear simulaciones de eventos, para la realización de este proyecto se utilizará Simio.

Simio es un software de modelización, simulación y animación 3D de flujos por eventos discretos, basado en un enfoque mixto objetivos-procedimientos.

Esto quiere decir que:

- Modeliza: captura y describe un funcionamiento, un comportamiento de un sistema real o imaginario.
- Simula: permite estudiar resultados, respuestas del sistema ante nuevas situaciones hipotéticas o futuras.
- Anima 3D: presenta los resultados en animaciones 3D gráficamente muy atractivas, además de informes numéricos de todo tipo.

Simio puede ser usado en sistemas donde exista un flujo, un sentido de progresión (movimiento o transformación) de entidades en el tiempo.

1.4. Objetivos

Seguidamente se presentan los objetivos generales y específicos propuestos para la realización del presente estudio.

1.4.1. Objetivo General

Desarrollar en el software de simulación de evento discreto orientado a objeto Simio un modelo que represente el procedimiento de emergencia y evacuación en aviones de fuselaje ancho (doble pasillo) y, evaluar los resultados obtenidos de diferentes experimentos con la finalidad que puedan servir como ayuda en la toma de decisiones futuras.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Demostrar que es posible modelar en Simio un sistema complejo de evacuación de aeronaves, donde en función del tipo de emergencia y diferentes capacidades de tipos de pasajeros, se cumple o no con la normativa aeronáutica.
- Proponer un modelo de configuración de pasajeros para el simulacro real de evacuación, donde se tiene en cuenta a los pasajeros de movilidad reducida.
- Realizar experimentos con diferentes capacidades de pasajeros con movilidad reducida para contemplar la posibilidad de ofertar asientos vacíos en un vuelo a pasajeros de este tipo, con la seguridad de que en caso necesario se cumpliría con la normativa.
- Acercar al lector diferentes conceptos tanto técnicos como generales sobre el sector aeronáutico y la simulación.

1.5. Riesgos del proyecto

1.5.1. Evaluación de los riesgos

- **R1:** Planificación temporal optimista: Las tareas no se cumplen dentro del periodo establecido, con el consecuente retraso del proyecto.
- **R2:** Falta de realización de alguna tarea u objetivo: No cumplir con alguno de los objetivos o tareas por algún motivo.

- **R3:** Herramientas de desarrollo inadecuadas: Elegir erróneamente el software a utilizar para la realización del proyecto.
- **R4:** Falta de información: Falta de información que puede provocar un retraso o disminuir la calidad del proyecto.
- **R5:** No encontrar datos reales para la simulación: realizar una simulación que no siga tiempos de comportamiento reales.
- **R6:** Realización incorrecta de la simulación: Falta de calidad del modelo o el no cumplimiento de los objetivos programados.
- **R7:** Abandono del proyecto antes de su finalización: no poder o no saber realizar la simulación prevista, con el consecuente abandono del proyecto.

1.5.2. Catalogación de los riesgos

Riesgo	Probabilidad	Impacto
R1	Media	Alto
R2	Media	Alto
R3	Baja	Alto
R4	Media	Crítico
R5	Media	Alto
R6	Media	Alto
R7	Baja	crítico

Tabla 1.1: Catalogación de los riesgos

1.5.3. Plan de contingencia

Riesgo	Solución
R1	Incrementar el número de horas dedicadas al proyecto o abandonar alguna de las tareas secundarias que no tenga impacto sobre el objetivo principal.
R2	Dedicar tiempo y recursos modificando la planificación.
R3	Modificar la planificación de forma que con el software correcto se pueda

	desarrollar el proyecto.
R4	Lograr la mejor calidad posible adaptada a la información disponible.
R5	Trabajar con intervalos de tiempo y especificar que los datos son aproximados, se debe tener en cuenta para las conclusiones posteriores.
R6	Buscar asesoramiento.
R7	Sin solución.

Tabla 1.2: Contingencias

1.6. Planificación temporal

- Fase 1: Recopilación e interpretación de la información previa.
 - a) Búsqueda de la normativa aeronáutica vigente.
 - b) Búsqueda de datos reales sobre tiempos de evacuación.
 - c) Búsqueda del manual de la aeronave seleccionada.
 - d) Adquisición del software y material necesario para su utilización.
 - e) Interpretación de la información recopilada.

- Fase 2: Definición del sistema a desarrollar.
 - a) Descripción de las necesidades y objetivos a tratar.
 - b) Especificación de los diferentes atributos a utilizar.

- Fase 3: Desarrollo y realización del modelo.
 - a) Realización de la simulación.

- Fase 4: Validación del modelo.
 - a) Realización de una serie de pruebas para validar que el modelo funciona correctamente.

- Fase 5: Realización de pruebas sobre el modelo simulado.
 - a) Recreación de diferentes situaciones hipotéticas.
 - b) Extracción de conclusiones sobre las pruebas realizadas.

- Fase 6: Estudio sobre pasajeros con movilidad reducida.
 - a) Realización de pruebas teniendo en cuenta diferentes capacidades de pasajeros con movilidad reducida.
 - b) Extracción de conclusiones sobre las pruebas realizadas.
- Fase 7: Redacción del documento final.
 - a) Redacción del documento a presentar.
 - b) Preparación de la presentación del proyecto.

	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Pr
1		* Fase1:Recopilación e interpretación de la información previa	6 días	vie 29/11/13	vie 06/12/13	
7		[-] Fase2:	3 días	lun 09/12/13	mié 11/12/13	
8		a)	2 días	lun 09/12/13	mar 10/12/13	6
9		b)	1 día	mié 11/12/13	mié 11/12/13	8
10		[-] Fase3:	9 días	jue 12/12/13	mar 24/12/13	
11		a)	9 días	jue 12/12/13	mar 24/12/13	9
12		[-] Fase4:	2 días	mié 25/12/13	jue 26/12/13	
13		a)	2 días	mié 25/12/13	jue 26/12/13	11
14		[-] Fase5:	5 días	vie 27/12/13	jue 02/01/14	
15		a)	3 días	vie 27/12/13	mar 31/12/13	13
16		b)	2 días	mié 01/01/14	jue 02/01/14	15
17		[-] Fase6:	5 días	vie 03/01/14	jue 09/01/14	
18		a)	3 días	vie 03/01/14	mar 07/01/14	16
19		b)	2 días	mié 08/01/14	jue 09/01/14	18
20		[-] Fase7:	19 días	vie 10/01/14	mié 05/02/14	
21		a)	13 días	vie 10/01/14	mar 28/01/14	19
22		b)	7 días	mar 28/01/14	mié 05/02/14	21

Figura 1.1: Programación inicial

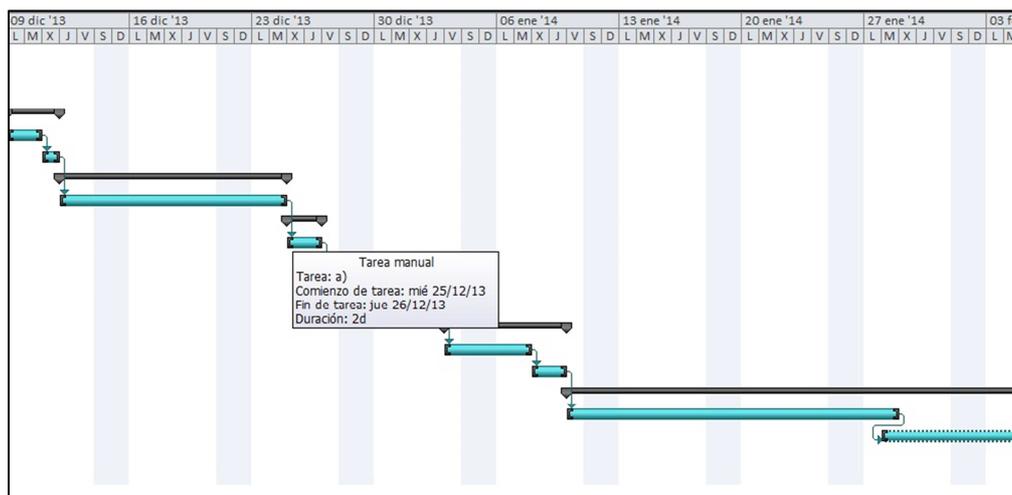


Figura 1.2: Diagrama de Gantt inicial

1.7. Alcance Y Limitaciones

Este trabajo comprende la realización de la simulación del proceso de evacuación en aeronaves en el software *Simio Simulation*. Para desarrollar un modelo que en un futuro pudiese ser validado, es preciso trabajar con datos observados reales. En este caso, al tratarse de un proyecto final de carrera los recursos de trabajo son limitados, es por ello, y debido a la imposibilidad de obtener datos reales, que los parámetros de entrada referentes a tiempos introducidos son cuasi subjetivos por parte del autor.

1.8. Temario y Metodología

El presente documento se estructura en siete capítulos diferenciados en función de los conceptos a abarcar en cada caso:

- **Capítulo 1, 2 y 3, Introducción.**
Se justifica el motivo del estudio, así como sus objetivos. Se desarrollan antecedentes generales necesarios para comprender el entorno de desarrollo del proyecto.
- **Capítulos 4 y 5, Construcción del Modelo de Simulación.**
En los diferentes capítulos se entregan y desarrollan conceptos en los cuales es necesario profundizar para poder desarrollar el modelo de simulación, así como el entorno de actuación, el factor humano o los movimientos a considerar necesarios.
- **Capítulo 6 y 7, Resultados y Conclusiones.**
En esta última parte se explican y analizan los diferentes resultados obtenidos de los diferentes experimentos simulados y se extraen las conclusiones finales sobre el trabajo realizado.

CAPÍTULO 2. SIMULACIÓN

2.1. Introducción

Es objeto de este estudio conseguir realizar un modelo de simulación que recree una situación de evacuación en aeronaves, por ello cabe destacar algunos conceptos y definiciones importantes sobre simulación y más concretamente sobre el software Simio.

Simulación es la investigación de una hipótesis o un conjunto de hipótesis de trabajo utilizando modelos [1].

Thomas T. Goldsmith Jr. y Estle Ray Mann la define así: "Simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos períodos".

Una definición más formal formulada por *R.E. Shannon* es: "La simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias -dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos - para el funcionamiento del sistema".

Simulación por computadora:

Es un intento de modelar situaciones de la vida real por medio de un programa de computadora, lo que requiere ser estudiado para ver cómo es que trabaja el sistema. Ya sea por cambio de variables, quizás predicciones hechas acerca del comportamiento del sistema.

La simulación por computadora se ha convertido en una parte útil del modelado de muchos sistemas naturales en física, química y biología, y sistemas humanos como la economía y las ciencias sociales (sociología computacional), así como en dirigir para ganar la penetración su comportamiento cambiará cada simulación según el conjunto de parámetros iniciales supuestos por el entorno. Las simulaciones por computadora son a menudo consideradas seres humanos fuera de un *loop* de simulación.

Tradicionalmente, el modelado formal de sistemas ha sido a través de un modelo matemático, que intenta encontrar soluciones analíticas a problemas que permiten la predicción del comportamiento de un sistema de un conjunto de parámetros y condiciones iniciales. La simulación por computadora es frecuentemente usada como un accesorio para, o sustitución de, sistemas de modelado para los cuales las soluciones analíticas de forma cerrada simple no son posibles. Ahí se encuentran muchos tipos diferentes de simulación por computadora, la característica común que todas ellas comparten es el intento por generar una muestra de escenarios representativos para un modelo en que una enumeración completa de todos los estados posibles serían prohibitivos o imposibles. Varios paquetes de software existen para modelar por

computadora en el funcionamiento de la simulación se realiza sin esfuerzo y simple (por ejemplo: la simulación Montecarlo y el modelado estocástico como el Simulador de Riesgo).

Es cada vez más común escuchar acerca de simulaciones a muchas clases designadas como "ambientes sintéticos". Esta etiqueta ha sido adoptada al ampliar la definición de "simulación", que abarca virtualmente cualquier representación computarizada.

2.2. Historia

En los *primeros años* de la simulación de evento discreto el paradigma de modelamiento dominante era la orientación a evento, la que fue implementada por herramientas tales como Simscript y GASP. En este paradigma de modelamiento, el sistema es visto como una serie de eventos instantáneos que cambian el estado del sistema. El modelador define los eventos en el sistema y modela los cambios de estado que se llevan a cabo cuando estos eventos ocurren. Este enfoque de modelamiento es bastante eficiente y flexible, pero también es una representación relativamente abstracta del sistema. Como resultado, muchas personas consideran dificultoso el modelamiento utilizando una orientación a evento [2].

En la *década de los '80* la simulación orientada a proceso desplazó a la orientación a evento, convirtiéndose en el enfoque dominante para la simulación de evento discreto. En la perspectiva del proceso se describe el movimiento de entidades pasivas a través del sistema como un flujo de procesos. El flujo de procesos está descrito por una serie de pasos de procesos (tales como retardar, aprovechar un recurso, dejarlo ir) que modelan los cambios de estado que se llevan a cabo en el sistema. Este enfoque data de la década de los '60 con la introducción del GPSS (Sistema de Simulación de Propósito General) y proporcionó una manera más natural para describir el sistema. Sin embargo, debido a numerosos asuntos prácticos con el GPSS original (por ejemplo su reloj integrado y su lenta ejecución) este sistema no se convirtió en el enfoque dominante hasta las versiones mejoradas en el año 1976, junto con lenguajes de procesos más nuevos como SLAM y SIMAN que se volvieron ampliamente utilizados en los '80 [2].

Durante los '80 y '90 la animación gráfica también emergió como una característica clave de las herramientas de modelamiento en simulación. La construcción de modelos gráficos simplificó la confección de modelos de procesos y la animación gráfica mejoró dramáticamente la observación y validación de resultados de simulación. La introducción de Microsoft Windows en el mercado informático hizo posible el construir interfaces de usuario mejoradas y el surgimiento de nuevas herramientas gráficas (por ejemplo ProModel y Witness).

Desde la amplia propagación hacia la orientación a procesos basados en gráficos ha habido refinamientos y mejoras en las herramientas, pero no avances reales en la estructura fundamental del modelamiento. La gran mayoría de los modelos de evento discreto siguen siendo construidos utilizando la misma orientación a proceso de los últimos 25 años [2].

A pesar de que esta orientación a proceso ha probado ser muy efectiva en la práctica, una orientación a objeto ofrece un atractivo paradigma de modelamiento alternativo que tiene el potencial de ser más natural y fácil de usar. En una orientación a objeto se modela el sistema al describir los objetos que lo conforman. Por ejemplo, se modela una fábrica al describir los trabajadores, las máquinas, las cintas transportadoras, los robots y otros elementos que son parte del sistema. El comportamiento del sistema emerge de la interacción de estos objetos.

Aunque algunos productos han sido definidos como orientados a objeto, a fecha de hoy, muchos simuladores han elegido continuar con la orientación a proceso. Esto se debe en gran parte a que, a pesar de que el paradigma de modelamiento fundamental puede ser más simple y menos abstracto, la implementación específica puede llegar a ser difícil de aprender y utilizar, ya que necesita programación y tiene lenta ejecución. Estos desafíos no son diferentes a los que experimentó la orientación a proceso al destronar a la orientación a evento. Cabe señalar que desde la introducción del primer lenguaje de simulación orientado a proceso (GPSS en 1961), pasaron 25 años antes de que la orientación a proceso se desarrollara a tal punto que los simuladores llegaron a ser persuadidos a realizar el cambio [2].

Actualmente el software de simulación más utilizado en el mercado es Arena. Sus creadores, Dennis Peden y David Sturrock, vendieron la marca y presentaron una nueva alternativa de simulación orientada a objeto, llamada Simio (**S**imulación basada en **O**bjeto **I**nteligente), con la que se ofrecen las siguientes ventajas [3]:

- La capacidad de definir y personalizar objetos utilizando lógica de procesos en lugar de código, permitiendo que usuarios sin conocimientos en programación tomen completa ventaja del poder de los objetos.
- Un paradigma que permite que objetos que fueron diseñados de manera independiente tengan interacciones complejas entre ellos.
- La opción de realizar simulación orientada a objeto, a proceso, de evento discreto, continuo y basado en agente, y mezclarlas en un solo modelo.
- Una fuerte integración en animación en 2D para una fácil construcción de modelos con animación en 3D automática para un mayor impacto en la presentación.

2.3. Modelo en Simio

Simio es un lenguaje de simulación basado en objeto inteligente, y entrega diferencias con otro software de simulación en la perspectiva de la construcción del modelo. Por ejemplo, en el software Arena, se utiliza un solo tipo de patrón de modelamiento, llamado *orientación a proceso*, en el cual se trabaja en términos de un proceso lógico compuesto por bloques pasivos y que son activados ante la llegada de una entidad. Las entidades se mueven de bloque en bloque y cambian el estado del modelo en el tiempo. Los bloques representan acciones lógicas como aprovechar un recurso, realizar retardos en el tiempo, etc. Primero se debe crear el flujo de procesos

para el modelo en forma de diagrama y luego se dibuja la animación en 2-D de forma separada y se enlaza con el proceso [4].

En Simio, los modelos se construyen típicamente basados en una *orientación a objeto*. Se insertan objetos en la ventana “Facility” (instalación) y se conectan en un ambiente en 3-D. La ventana “Proceso” es donde se define la lógica en forma de diagramas similares a los de Arena. Los objetos definen tanto la lógica como la animación del modelo, construyéndose ambos aspectos en un solo paso. A diferencia de Arena, en Simio se modela a través de objetos físicos en el sistema, por ejemplo, máquinas, robots, cintas transportadoras, etc., que conforman el sistema [4].

2.3.1. Objetos y su Jerarquía

Existen *seis clases básicas de objetos en Simio*, las que se muestran en la Figura 2.1, donde las flechas indican su jerarquía. Éstas proveen un punto de partida para crear objetos inteligentes en Simio. Por defecto estas seis clases de objeto tienen poca inteligencia nativa, pero poseen la capacidad de ir adquiriendo. Las clases definen un comportamiento genérico, pero no el comportamiento específico de un objeto, ya que éste último se da por una definición particular del objeto, lo que le da su propio comportamiento inteligente. Por ejemplo, una cinta transportadora puede ser creada mediante la definición de características singulares en un enlace entre dos nodos. Se puede construir versiones inteligentes de estos objetos al modelar su comportamiento como una colección de procesos manejados por eventos [4].

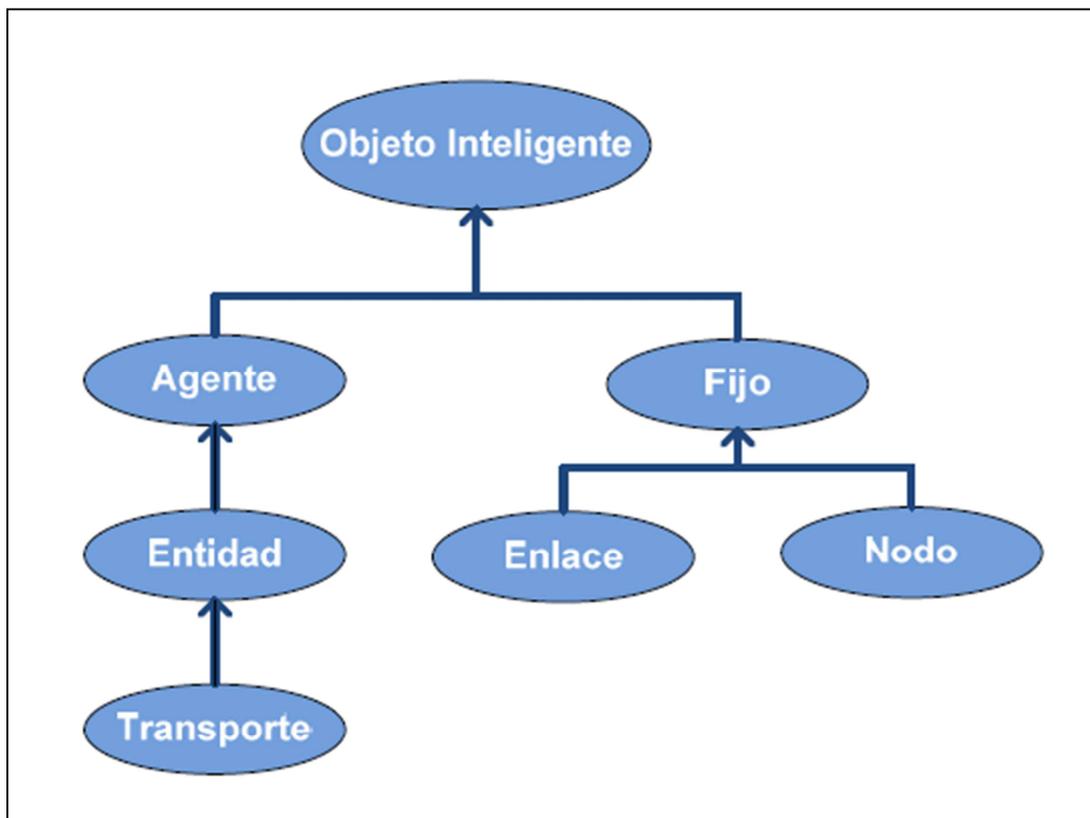


Figura 2.1: Clases de Objetos en Simio

La primera clase es el *objeto fijo*. Éste tiene una ubicación fija en el modelo y puede usarse para representar un sistema completo (por ejemplo una planta) o componentes del sistema que no se mueven de un lugar a otro (por ejemplo máquinas, equipamiento) [4].

Los *agentes* son objetos que pueden moverse libremente en el espacio 3D y se usan típicamente para desarrollar modelamiento basado en agente, lo que es útil para estudiar sistemas que están compuestos por muchos objetos inteligentes independientes que interactúan entre ellos para crear un comportamiento general del sistema. Ejemplos de aplicaciones incluyen aceptación del mercado de un nuevo producto o servicio, o crecimiento poblacional de especies rivales dentro de un ambiente [4].

Una *entidad* es una subclase de la clase Agente y posee un comportamiento adicional importante. Pueden seguir un flujo de trabajo en el sistema, incluyendo la capacidad de utilizar una red de enlaces para moverse entre objetos; la habilidad de visitar, entrar y salir de ubicaciones entre otros objetos a través de nodos, y la capacidad de ser recogidas, llevadas y entregadas por objetos transportadores. Ejemplos de entidades incluyen clientes de un sistema de servicio, piezas de trabajo en un sistema de manufactura o doctores, enfermeras y pacientes en un sistema de salud. Cabe señalar que en un sistema de modelamiento clásico las entidades son pasivas y son controladas por los procesos del modelo [4].

Los objetos *enlace* y *nodo* se utilizan para construir redes por donde las entidades pueden circular. Un enlace define un camino para el movimiento de entidades entre objetos. Un nodo define un punto de partida o de fin para un enlace. Ambos pueden combinarse para componer redes complejas con comportamiento de flujo sin restricción o de tráfico congestionado, entre otros [4].

La clase final es el *transporte*, que es una subclase de la clase Entidad. Un transporte es una entidad que adicionalmente posee la capacidad de recoger objetos en una ubicación, llevar esas entidades a través de una red de enlaces o en el espacio libre, y luego dejarlas en un destino. Un objeto transporte también la habilidad de moverse fuera de una red y mantener una asociación con un nodo en esa red, como por ejemplo estacionarse en un nodo de una red [4].

CAPÍTULO 3. EMERGENCIA

3.1. Introducción

En este capítulo se explica cómo se regula la normativa referente al procedimiento de emergencia en aeronaves. Se focaliza especialmente en la normativa reguladora del ensayo de evacuación que han de superar los aviones con el objetivo de obtener el certificado de aeronavegabilidad y, la historia y evolución de dicha regulación.

Por otra parte, se presentan diversos conceptos relacionados con la evacuación, ya que existen diversos tipos, así como lo establecido por regulación de cómo la tripulación debe actuar en caso de emergencia.

3.2. Normativa

3.2.1. Regulación

Las normas de aeronavegabilidad para los aviones de la categoría de transporte en los Estados Unidos de América están contenidas en [5]:

- Code of Federal Regulations, Title 14–Aeronautics and Space.
Chapter I–Federal Aviation Administration, Department of Transportation
Subchapter C–Aircrafts
Part 25–Airworthiness Standards: Transport Category Airplanes
1-1-2008 Edition

Asimismo, las normativas aeronáuticas de la Unión Europea para grandes aviones con motores turbina están contenidas en:

- EASA Certification Specifications for Large Aeroplanes CS-25
Amendment 4 (27 December 2007)
Book 1 Airworthiness Code

Ambas legislaciones son bastante similares, debido a que la última surgió de la unificación de las diversas legislaciones nacionales europeas en un proceso de acercamiento a la norteamericana. Aunque hay una política de armonización entre ellas, en lo que concierne a las cláusulas relativas a la emergencia (donde se encuentra recogido el ensayo de evacuación, la reglamentación americana ha evolucionado algo más.

Los fabricantes de aviones englobados en la categoría de transporte deben asegurarse de que cada avión que producen satisface las normas correspondientes de las FAR-25. Estas normas se aplican a aviones fabricados dentro de los E.E.U.U. y a aviones fabricados en otros países e importados bajo un acuerdo bilateral de aeronavegabilidad.

Una de las normas que deben ser satisfechas es la demostración de que pasajeros y tripulantes pueden ser evacuados de forma adecuada en una emergencia. Esta norma está detallada en los requisitos contenidos en Sec. 25.803 y en el Apéndice J de la Parte 25. El objetivo perseguido con su proposición es comprobar la evacuabilidad de emergencia bajo un conjunto consistente de condiciones prescritas. Sin embargo, no se propone para demostrar que todos los pasajeros puedan ser evacuados bajo todas las condiciones de emergencia concebibles (es objeto de nuestro estudio realizar diferentes pruebas y extraer conclusiones).

Las FAR 121 y las EU-OPS 1 contienen los requisitos que gobiernan las operaciones de las aerolíneas domésticas, de bandera y complementarias y los operadores comerciales de grandes aviones en E.E.U.U. y Europa respectivamente. Uno de los requisitos es que el titular del certificado debe demostrar la eficacia del entrenamiento de tripulaciones y de los procedimientos operativos para abrir las salidas, tanto a nivel del suelo como con realce, y desplegar las rampas de evacuación, si están instaladas, de una forma apropiada.

3.2.2. Historia de las normativas de evacuación [5]

La *Enmienda 121-2*, en vigor desde el 3 de Marzo de 1965, introdujo por primera vez el requisito de una demostración de evacuación de emergencia en las normativas de la FAA. Se requiere a las entidades que operan bajo la Parte 121 del Título 14 del CFR realizar demostraciones de evacuación de emergencia a escala real usando el 50% de las salidas del avión. La mitad de las salidas se suponían no operativas para simular el tipo de emergencias donde el fuego, daños estructurales u otras condiciones adversas impedirían el uso de esas salidas. Se dio un límite temporal de 120 segundos. La demostración se requería en las siguientes circunstancias:

1. en la introducción de un tipo y modelo de avión en las operaciones de transporte de pasajeros,
2. en un incremento de al menos un 5% en el número de asientos de pasajeros de un avión ya certificado,
3. en un cambio importante de la configuración interior de un avión que pudiera afectar a la evacuación de emergencia.

Los propósitos de la demostración eran evaluar la habilidad de los tripulantes para ejecutar los procedimientos de evacuación de emergencia establecidos y asegurar asignaciones realistas de tareas a la tripulación.

La *Enmienda 25-15*, en vigor desde el 24 de Octubre de 1967, introdujo los requisitos de evacuación de emergencia en la Parte 25. La nueva Sección 25.803 creada requería a los fabricantes de aviones realizar una demostración de evacuación de emergencia para aviones con una capacidad de asientos mayor o igual a 44 pasajeros. El propósito de esta demostración era asegurar una mínima capacidad de evacuación del avión. El límite temporal para esta demostración se estableció en 90 segundos. Al mismo tiempo, el límite temporal para la demostración de la Parte 121 se redujo a 90 segundos mediante la Enmienda 121-30, también vigente a partir del 24 de octubre de 1967. Esta reducción fue primeramente atribuida a las mejoras hechas en la eficiencia

de dispositivos de ayuda a la evacuación, tales como los toboganes neumáticos inflables. El propósito de la demostración de la Parte 121 aún fijaba su atención en el entrenamiento de tripulaciones y en los procedimientos de las tripulaciones para que las condiciones de demostración permanecieran de alguna forma diferente entre las dos partes.

La **Sección 25.803(d)** enumeraba las condiciones bajo las que podía usarse el análisis en lugar de las demostraciones a escala real para probar el cumplimiento de la norma. La sección establecía que la demostración a escala real no tenía que ser repetida para un cambio en la configuración interior o para un incremento de menos del 5% de la capacidad de asiento de pasajeros, si se comprobaba mediante análisis que todos los ocupantes podían ser evacuados en menos de 90 segundos.

La **Enmienda 25-46**, en vigor desde el 1 de Diciembre de 1978, revisó la Sección 25.803 para permitir otros medios diferentes a la demostración real para probar la evacuabilidad de un avión y para reemplazar las condiciones existentes en la Parte 25 con condiciones que satisficieran tanto la Parte 25 como la Parte 121. De esta forma, podía usarse una demostración para satisfacer ambos requisitos. Además, la Enmienda 25-46 revisó la Sección 25.803 para permitir el uso del análisis para justificar el cumplimiento para un incremento de la capacidad de asiento de más de 5%. La Parte 121 fue revisada, mediante la Enmienda 121-149, en vigor desde el 1 de Diciembre de 1978, para aceptar en ella los resultados de las demostraciones efectuadas en cumplimiento de la Sección 25.803 según la Enmienda 25-46.

La **Enmienda 25-72**, en vigor desde el 20 de agosto de 1990, situó las condiciones de la demostración previamente enumeradas en la Sección 25.803(c) en un nuevo Apéndice J a la Parte 25. Este cambio se hizo por claridad y consistencia editorial con la Parte 121. Además, los requisitos de ruta de escape de emergencia primeramente contenidos en la Sección 25.803(e) se transfirieron a la nueva Sección 25.810(c).

La **Enmienda 25-79**, en vigor desde el 27 de Septiembre de 1993, revisó el Apéndice J de la Parte 25 mediante reconsideración de la combinación de edad/sexo a ser usada cuando se realiza un ensayo de evacuación de emergencia, permitiendo el uso de plataformas o rampas para descenso desde salidas sobre el ala solo cuando el avión no estuviera equipado con medios de descenso sobre el ala, y prohibiendo a la tripulación de vuelo el tomar un papel activo en asistencia en la cabina de pasajeros.

La **Enmienda 121-233**, en vigor desde el 27 de Septiembre de 1993, revisó la Sección 121.291(a), (a)(1), y (a)(2) para quitar el requisito de que el titular del Certificado realizara un ensayo de evacuación a escala real si el tipo y modelo de avión había demostrado estar en conformidad con la Sección 121.219(a) vigente a partir del 24 de Octubre de 1967, o, si durante la certificación de tipo el avión había mostrado estar en conformidad con la Sección 25.803 vigente a partir del 1 de Diciembre de 1978. Adicionalmente, se podría realizar una demostración real en conformidad con el Apéndice D de la Parte 121 vigente a partir del 27 de septiembre de 1993, o en conformidad con la Sección 25.803 en vigor a partir de esa misma fecha.

La **Enmienda 25-88**, en vigor desde el 9 de diciembre de 1996, revisó los requisitos vigentes para las salidas de emergencia de pasajeros (concretamente, el número de asientos permitido por cada tipo de salida y el tipo y número de salidas requerido para cada configuración de asiento) y añadió dos tipos nuevos a la normativa.

La **Enmienda 25-94**, en vigor desde el 25 de marzo de 1998, corrigió errores de omisión de requisitos sobre salidas de emergencia para tripulación de vuelo y la distancia entre salidas de emergencia de pasajeros.

La **Enmienda 25-114**, en vigor desde el 2 de junio de 2004, reduce el tiempo de inflado máximo de un tobogán de escape para reflejar el estado del arte coetáneo.

La **Enmienda 25-116**, en vigor desde el 16 de Noviembre de 2004, revisó los espacios y los asideros para asistencia de auxiliares, características de fijación de puertas abiertas, medios de visión externos, puertas de compartimientos interiores y los equipos portátiles de oxígeno. El objetivo era aumentar el nivel de seguridad en aquellas áreas donde el estado del arte garantiza que la mejora es factible.

La **Enmienda 25-117**, en vigor desde el 17 de Diciembre de 2004, revisa el apéndice J de la parte 25 para reducir la posibilidad de lesión de los participantes en el ensayo de evacuación de emergencia a escala completa y para reflejar las prácticas existentes sobre aviones equipados con toboganes sobre el ala.

3.3. Procedimiento de emergencia

Se designa con el término de **emergencia** al accidente o suceso que acontece de manera absolutamente imprevista. En tanto, de acuerdo al contexto en el cual se use, la palabra emergencia puede referir diversas cuestiones [6].

En el entorno aeronáutico, en el cual se desenvuelve el estudio, la mayoría de emergencias suceden durante las fases de despegue o aterrizaje.

Aunque las maniobras de despegue y aterrizaje, ponen de manifiesto una categórica diferencia entre fuerzas, sonidos o actitudes a la situación normal, ello determina a la necesidad de preparar a los pasajeros para un posible impacto (Figura 3.1.) y si se considera apropiado, gritar a los pasajeros repetidamente que adopten la postura de protección [7].



Figura 3.1: Posición de protección ante un impacto

Ante una emergencia en un avión ya en vuelo, a los responsables del aparato solo les queda la opción de realizar un aterrizaje de emergencia en un lugar preparado para ello o no, y en caso conveniente proceder a realizar la evacuación correspondiente.

Un ***aterrizaje de emergencia*** es un procedimiento de aterrizaje que debe realizarse por causas sobrevenidas durante el vuelo y que comprometen la seguridad del mismo. Generalmente, se realiza en un aeródromo o terreno no previsto, y en ocasiones no se siguen los procedimientos normales de toma. Existen infinidad de causas que pueden conducir a la realización de un aterrizaje de emergencia, y este puede ser de innumerables tipos, tanto en pistas preparadas como en terrenos no preparados. Dependiendo del estado de la meteorología, aeronave y la tripulación, no siempre es posible realizar un aterrizaje de emergencia. En estas ocasiones es mejor opción abandonar el aparato en vuelo, si esta opción está disponible. El éxito de un aterrizaje de emergencia depende en gran medida de la pericia del piloto a la hora de tomar decisiones, del conocimiento de su aeronave, y de las características de esta y del terreno en el que tomar tierra [8].

****Tipos de aterrizajes de emergencia [8]:***

Un aterrizaje de emergencia puede ser planeado o no planeado según las condiciones que se encuentre el avión:

- ***Aterrizaje forzoso*** – El avión es forzado a tomar tierra debido a problemas técnicos. Aterrizarse lo más pronto posible es una prioridad, no importa donde, ya que ha ocurrido un fallo grave en el avión o es inminente. Generalmente está causado por un fallo de un sistema crítico del avión como los motores, el sistema hidráulico o el tren de aterrizaje. El piloto intentará buscar la pista más cercana para el aterrizaje, y de no ser posible intentará aterrizar en un espacio abierto, evitando que los pasajeros sufran el menor daño.
- ***Aterrizaje preventivo*** se refiere a un aterrizaje planeado en la pista más cercana que encuentre el avión. Puede ser por varios motivos, porque haya una amenaza exterior que impida el vuelo o una emergencia policial o médica dentro del avión. En dichos aterrizajes prima valorar la calidad de la pista, las condiciones meteorológicas y todo aquello que no estuviera previsto. En Estados Unidos debido a la amenaza terrorista se han producido numerosos aterrizajes preventivos por falsas alarmas terroristas.
- ***Amerizaje***, que sería lo mismo que un aterrizaje forzoso pero en el agua. Si bien los aviones no están diseñados para flotar, tienen cierta capacidad para mantenerse sobre el agua algún tiempo (algunas veces horas) antes de hundirse.

3.3.1. Evacuación

La tripulación de cabina debe estar preparada para evacuar el avión en una situación de emergencia y estar alerta a posibles indicios como chispas, fuego, humo, ruidos inusuales, actitudes inusuales del avión, que puedan hacer pensar que se trate de una emergencia.

****Existen dos tipos de evacuaciones [7]:***

- Prevista, es aquella en la que se dispone de tiempo suficiente para instruir a los pasajeros y a la tripulación.
- Imprevista, es aquella en la que no se dispone de tiempo suficiente para instruir a los pasajeros y a la tripulación.

****Directrices para una emergencia [7]:***

- La evacuación no debe iniciarse hasta que el avión no está completamente parado.
- Asegurarse que los motores no están en marcha antes de la apertura de las puertas anteriores o posteriores del mismo.
- Estar preparado para más de un impacto.
- La tripulación de cabina debe iniciar la evacuación tras la señal del cockpit.
- La tripulación de cabina debe tomar la decisión, de manera independiente, de iniciar la evacuación si observa considerable daño estructural, situación de peligro de muerte (fuego, humo, fuerzas de impacto, amaraje) o actitud anormal del avión y no hay respuesta por parte del cockpit.
- Si hay una emergencia y el tiempo lo permite, informar a cockpit antes de iniciar la evacuación simultáneamente al inicio de la misma.
- La tripulación de cabina debe seguir las instrucciones adicionales dadas por el cockpit.
- Si un tripulante de cabina inicia la evacuación, el resto debe seguir inmediatamente los procedimientos de evacuación.
- Si un tripulante de cabina ve que su vida está en peligro, la seguridad personal del tripulante tiene prioridad.

3.3.2. Evacuación en tierra

Después de haber visto el concepto de emergencia y evacuación, así como los diferentes tipos de aterrizaje, en el presente proyecto como objeto de estudio se focaliza y se simula una posible evacuación en tierra.

Cuando se produce una emergencia, más aún si va acompañada posteriormente de una evacuación es uno de los momentos clave en los que el trabajo de un TCP se convierte en imprescindible.

El procedimiento está prácticamente estandarizado de una a otra compañía, cambiando pequeños detalles en cuanto a los comandos que da la tripulación para coordinarse entre ellos o con los pasajeros. También hay algunas diferencias según el tipo de avión a evacuar y los sistemas de seguridad de los que se dispongan.

Durante el proceso de evacuación pueden incurrir diversos inconvenientes, es preciso contemplarlos todos. El objetivo está claro: ***sacar a los pasajeros a salvo del avión en el menor tiempo posible.***

****Cuándo y por qué de una evacuación [9]:***

- Se ***procede*** a una evacuación para el rápido rescate de pasajeros y tripulación expuestos a un peligro directo e inminente debido a las condiciones del avión tras un impacto.
- La ***tripulación*** debe estar completamente familiarizada con la apertura de las salidas de emergencia, manejo de las rampas y cometidos asignados a cada tripulante.
- La ***evacuación*** es considerada como un procedimiento de riesgo y por ello sólo se efectuará cuando sea absolutamente necesaria.
- La ***orden*** de evacuación solo será dada una vez el avión se haya parado completamente y los motores se hayan apagado. Debido a la situación extrema puede que cockpit tarde unos instantes antes de que pueda dar órdenes.

**** Inicio de la evacuación [9]:***

Desde la cabina de mandos se emitirá un comando que será (puede cambiar entre compañías):

- ***“PASSENGERS EVACUATE”*** (x2) y se pulsará el botón EVAC ON en cockpit.

Este hecho significa que los TCP's deben evacuar a los pasajeros.

***Acciones de la tripulación de cabina [9]:**

- -El **sobrecargo** presiona el botón RESET en el panel de control de la parte delantera.
- -El **TCP 2** (“sobrecargo trasero”) presiona el botón RESET en el panel trasero.
- -**Todos los TCP’s** alcanzan su puerta asignada, comprueban que estén armadas (que el tobogán esté preparado para inflarse) y, según las condiciones externas, cada TCP:

A) Condiciones externas seguras:

- **Abre** la puerta agarrándose a que puede ser expulsada del avión por la fuerza de la propia puerta.
- **Previene** a los pasajeros de no saltar antes de que el tobogán esté correctamente inflado, gritando: “ESPEREN”
- **Tira** del pull de inflado del tobogán. Aunque el inflado del tobogán es automático, esta acción se lleva a cabo para no perder tiempo en el caso de que falle este sistema mecánico.

1) Si el tobogán está correctamente inflado ordena a los pasajeros:

- ”Desabróchense los cinturones”.
- ”Dejen todo”.
- ”Por aquí”.
- ”Salten, deslíense, aléjense”.
- Evacua primero a dos pasajeros para que les ayuden desde abajo diciendo: “Usted y usted salten primero, quédense abajo y alejen a la gente mínimo 100 metros”.

2) Si el tobogán no se ha inflado correctamente:

- Bloquea la salida físicamente y grita: “SALIDA BLOQUEADA, UTILICEN LA OTRA SALIDA” (señalando cuál).

B) Condiciones externas no seguras:

- Bloquea la salida físicamente y grita: “SALIDA BLOQUEADA, UTILICEN LA OTRA SALIDA” (señalando cuál).

Además, cada TCP:

- chequea que no quede nadie en su zona asignada.
- ayuda a los demás TCP's en otras zonas.
- recoge el material de emergencia estipulado, si la evacuación no se ha realizado en un aeropuerto.
- sale del avión.
- grita a los pasajeros: “ALÉJENSE DEL AVIÓN”.
- reagrupa y cuenta a los pasajeros e impide que vuelvan al avión.

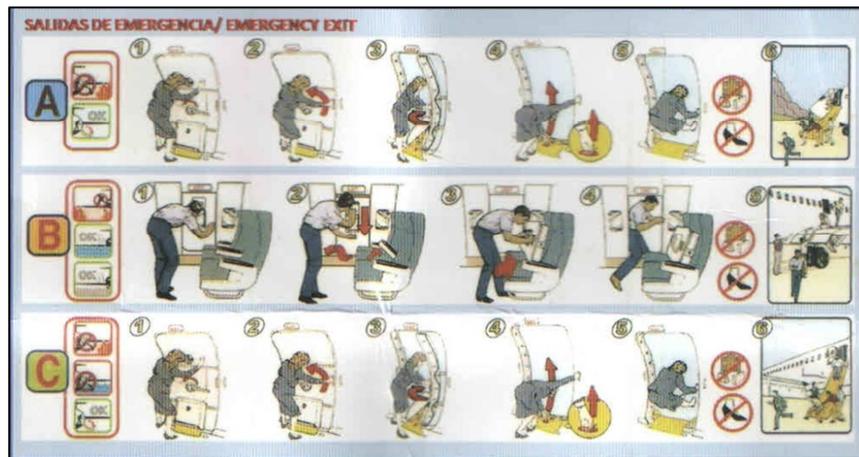


Figura 3.2: Ilustración salidas de emergencia

CAPÍTULO 4. TEORÍA DEL MODELO

Para la realización del modelo de simulación que se propone, se trabajará con tres componentes claves que los cuales son fundamentales para simular una evacuación, el avión, los pasajeros y los movimientos que realizan los pasajeros dentro de un avión en caso de proceder a una emergencia.

En este capítulo se explica toda la parte teórica de estos factores fundamentales.

4.1. AVIÓN

4.1.1. Introducción

El presente proyecto cuenta con un entorno de actuación tan peculiar como lo es un avión. La historia de estas máquinas del cielo se remonta a principios del siglo XX cuando los hermanos Wright consiguieron en el año 1903 [10] diseñar y fabricar un pequeño avión controlable (Figura 4.1.) que, aunque nunca consiguió volar por sí solo, al lanzarlo al aire con una catapulta externa sí consiguió realizar un corto vuelo, suficiente para comprobar el sistema de viraje y control del aparato.

Más de un centenario ha pasado de la proeza conseguida por los hermanos que son considerados como los pioneros de la aeronáutica, y muchos los cambios y avances producidos en el sector. Actualmente, son muchas las personas alrededor del mundo que utilizan este medio para desplazarse, bien sea por motivos de negocio, por ocio, o por otros factores, pero este hecho, hace que actualmente existan alrededor de 13.000 máquinas voladoras destinadas al transporte de pasajeros, que suman unos 30.000 vuelos por día desde o hacia a algún aeropuerto del planeta, unos 21 por minuto. Esto significa que a día de hoy, hay una máquina despegando o aterrizando cada menos de tres segundos [11].

Mucho es lo logrado en el sector, más aún, lograr tal movimiento de personas y aeronaves en un entorno tan característico y, considerándose el medio de transporte más seguro que existe a día de hoy. Aunque todo esto, obviamente, no es simplemente fruto de la casuística, más bien fruto de muchos años de investigación y desarrollo en los diferentes ámbitos que abarca la aeronáutica.

En este capítulo, no es intención del autor dar a conocer la historia y evolución de la aeronáutica, ni tampoco profundizar en diferentes aspectos técnicos relacionados con el tema, aunque sí, explicar diferentes aspectos básicos sobre aviones con la finalidad de comprender con mayor profundidad las razones y objetivos del estudio ya que éste, es considerado para aviones de transporte de pasajeros.

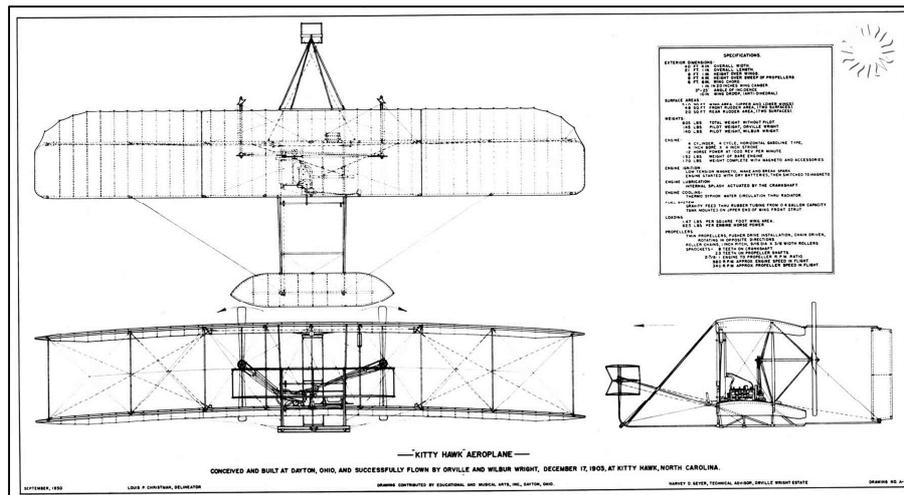


Figura 4.1: Aeroplano hermanos Wright

En cuanto a lo referido al transporte de pasajeros son dos grandes compañías las que se dedican a fabricar aparatos con este fin. La compañía americana Boeing Commercial Airplanes ha dominado el mercado mundial de aviones a reacción prácticamente desde sus inicios (allá por los años 50) y ha absorbido a otras grandes compañías punteras, como McDonnell Douglas. Durante su larga historia, ha desarrollado multitud de familias de aviones, tanto de fuselaje ancho como estrecho. En la actualidad esta supremacía se la disputa la europea Airbus S.A.S., creada en los años setenta, que ha conseguido sobrepasar en algunas cifras al gigantesco americano.

Para realizar la simulación de este proyecto se ha optado por la elección de un avión de fuselaje ancho Airbus A340, que es un avión comercial destinado al transporte de pasajeros, en este capítulo veremos las características más importantes de dicho aparato.

4.1.2. Tipo de aviones

Transporte aéreo, se denomina al traslado de un lugar hacia otro de personas, animales o cualquier tipo de objeto haciendo uso de un medio capaz de navegar por las zonas bajas y medias de la atmósfera (aeronave) [12]. Las características más relevantes de este tipo de transporte son las siguientes [13]:

- **Rapidez**, es el medio de transporte más rápido para largas distancias. Resulta imprescindible para envíos urgentes, de mercancías perecederas o de alto valor monetario.
- **Seguridad**, es el medio de transporte con menor siniestralidad.
- **Coste elevado**, también resulta el más costoso por kg o m³ transportado de todos los medios de transporte.
- **Carga limitada**, debido a la capacidad de carga por peso o volumen del avión y las medidas de las puertas y accesos

Dentro del ámbito civil, el transporte aéreo incluye dos grandes categorías:

- **Aviación comercial**, que puede ser regular (líneas aéreas) y no regular (vuelo chárter). Las líneas aéreas se caracterizan por estar sujetas a itinerarios, horarios y frecuencias, independientemente de la demanda que posean. Los servicios no regulares son también conocidos como “a demanda”. El sector que presta servicios de transporte de pasajeros o carga es conocido en su conjunto como industria aerocomercial.
- **Aviación general**, que comprende el resto de vuelos tanto comerciales como privados (escuela de pilotos, fotografía aérea, ambulancia aérea, tratamientos agrícolas, extinción de incendios...).

Es posible clasificar las aeronaves según su diseño de forma que se hacen las siguientes clasificaciones:

- **Aerodinos**, aeronaves más pesadas que el aire y, por lo tanto, las únicas capaces de generar sustentación; como el avión y el helicóptero, entre otros vehículos.
- **Aerostatos**, aeronaves más livianas que el aire, por lo que no generan sustentación; como el globo aerostático o el dirigible.

También se puede clasificar las aeronaves en función del tipo de carga que transportan:

- **Avión comercial**, destinado básicamente al transporte de pasajeros, que suele llevar algo de mercancía en la bodega.
- **Avión de carga**, destinado al transporte de mercancía en su totalidad.

TAMAÑO DEL AVIÓN	PORCENTAJE
Avión pequeño (hasta 30 t de carga)	46 %
Avión mediano (entre 30-50 t de carga)	36 %
Avión grande (más de 50 t de carga)	18%

Tabla 4.1: Carga transportada por tipo de avión

4.1.3. Fuselaje

El presente estudio está orientado a aviones de fuselaje ancho o doble pasillo, tal y como se ha mencionado anteriormente, por ello, cabe entender los conceptos en los que se desarrolla el proyecto.

El **fuselaje** es el cuerpo estructural del avión, de figura fusiforme, que aloja a los posibles pasajeros y carga, junto con los sistemas y equipos que dirigen el avión. Se

considera la parte central porque a ella se acoplan directa o indirectamente el resto de partes como las superficies aerodinámicas, el tren de aterrizaje y el grupo motopropulsor. En aviones monomotores el fuselaje contiene al grupo motopropulsor y la cabina del piloto; sirve también de soporte a las alas y estabilizadores; y lleva el tren de aterrizaje. En aviones multimotores no contiene al grupo motopropulsor: los motores van dispuestos en barquillas o mástiles, sobre o bajo las alas, o en la cola.

La *forma* del fuselaje obedece a una solución de compromiso entre una geometría suave con poca resistencia aerodinámica y ciertas necesidades de volumen o capacidad para poder cumplir con sus objetivos. El fuselaje variará entonces dependiendo de las tareas que el avión va a desempeñar. Mientras que un avión comercial buscará un promedio entre volumen para carga y pasajeros, y aerodinámica; un caza militar buscará un fuselaje totalmente aerodinámico que le permita realizar maniobras a altas velocidades sin sufrir deterioros estructurales.

En aviones comerciales la sección recta del fuselaje tenderá a ser circular para aliviar las cargas de presurización de la cabina, ya que de esta forma la presión se reparte de igual manera por todo el interior. Gran parte del volumen estará dedicado a la cabina de pasajeros cuya disposición variará según diversos factores (duración del vuelo, política de la aerolínea, salidas de emergencia...). La mercancía o carga se suele albergar en las bodegas del avión situadas en la parte inferior del avión. En aviones cargueros exclusivamente la forma del fuselaje dependerá de la carga que se vaya a transportar y se acomodará en función de la mercancía y su salida/entrada de la aeronave, disponiendo en el fuselaje de puertas o accesos especiales para la carga y descarga.

Como conclusión podemos decir que en la construcción del fuselaje intervienen numerosos factores de diseño, aerodinámica, cargas estructurales y funciones de la aeronave [5].

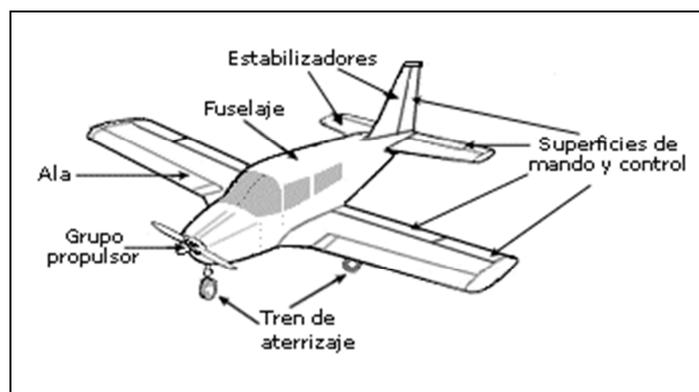


Figura 4.2: Estructura general del avión

En función del fuselaje, se distingue entre aviones de fuselaje estrecho y aviones de fuselaje ancho, a continuación se definen estos tipos como parte interesada del proyecto [15].

- **Avión de fuselaje estrecho**, es un avión de pasajeros con una anchura de cabina de la aeronave fuselaje típicamente de 3 a 4 metros y el asiento de línea aérea

dispuesto de 2 a 6 butacas a lo largo de un solo pasillo. Los aviones de fuselaje estrecho disponen de una autonomía que no permite los vuelos transatlánticos o transcontinentales, son comúnmente conocidos como aviones regionales o de corto/medio radio.

- **Avión de fuselaje ancho**, es un avión de pasajeros más grande y por lo general está configurado con múltiples clases de viaje, con un diámetro del fuselaje de 5 a 7 metros y pasillos individuales. Los pasajeros normalmente se acomodan en asientos de 7 a 10 filas. Como comparación, los aviones de fuselaje ancho típicos pueden alojar de 200 a 600 pasajeros, mientras que actualmente el avión de fuselaje estrecho más grande en servicio lleva a un máximo de 250-275.

4.1.3.1. Fuselaje estrecho Airbus

La familia Airbus A320 constituye, como reza la propaganda del constructor Airbus S.A.S., la familia líder indiscutible del mercado de aviones de fuselaje estrecho, con más de 3.200 unidades vendidas repartidas por todo el mundo.

La familia está constituida por los modelos A318, A319, A320 y A321. Los miembros comparten la misma cabina de vuelo, la sección transversal del fuselaje y muchos sistemas. Además vuelan con los mismos procedimientos operativos.

Concebida para ofrecer a las aerolíneas aviones con una disposición en planta de cabina optimizada, con mejor tratamiento de equipaje y carga, con máxima flexibilidad en rutas de alcance corto y medio y con bajos costes operativos.

A continuación se describe brevemente algunos datos de interés de estos aviones.

- **A320**, (Figura 4.3.) fue el iniciador de esta exitosa familia allá por el Marzo de 1982, la fecha de su primer vuelo es el 22 de Febrero de 1987 y consiguió la certificación el 26 de Febrero de 1988. Pasó a la historia de la aviación como el primer avión de pasajeros en usar el sistema fly-by-wire.
- **A321**, el programa A321 fue lanzado en Noviembre de 1989, el primer vuelo tuvo lugar el 11 de Marzo de 1993 y fue certificado en Diciembre de ese mismo año. Es una versión alargada y mejorada del Airbus A320 para transportar mayor número de pasajeros, inicialmente con menor alcance (series 100), aunque posteriormente (series 200) se superó el alcance del A320.
- **A319**, el programa A319 se lanzó en Junio de 1993 como una apuesta arriesgada con solo 6 órdenes de pedido y unas buenas expectativas de mercado, pero los resultados fueron espectaculares. El primer vuelo tuvo lugar en 25 de Agosto de 1995 y la certificación europea se consiguió en Abril de 1996.

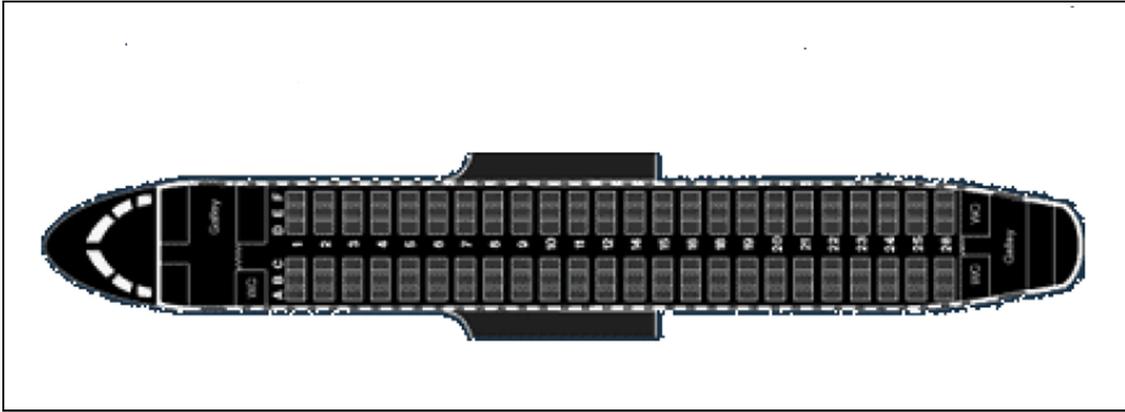


Figura 4.3: Mapa de asientos típico del Airbus A320-100

4.1.3.2. Fuselaje estrecho Boeing

La gama de aviones de fuselaje estrecho de la compañía Boeing comprende varias familias:

- **707**, familia de primitivos cuatrimotores turbo reactores (de flujo único) modificados a turbofan de baja derivación.
- **DC-9/MD-80/MD-90/717**, familia de bimotores turbofan de varias generaciones adosadas al fuselaje, heredada de la fusión McDonnell Douglas, con fuselaje estrecho y muy esbelto.
- **727**, muy exitosa y muy longeva familia de primitivos trimotores turbofan de alta derivación de primera generación, en posición trasera.
- **757**, familia de bimotores de fuselaje estrecho y esbelto, actualmente los de mayor tamaño, con turbofan de alta derivación de segunda generación y dispuesto bajo el ala.
- **737NG**, (Figura 4.4.) familia de bimotores turbofan de alta derivación de tercera generación y dispuestos bajo el ala.

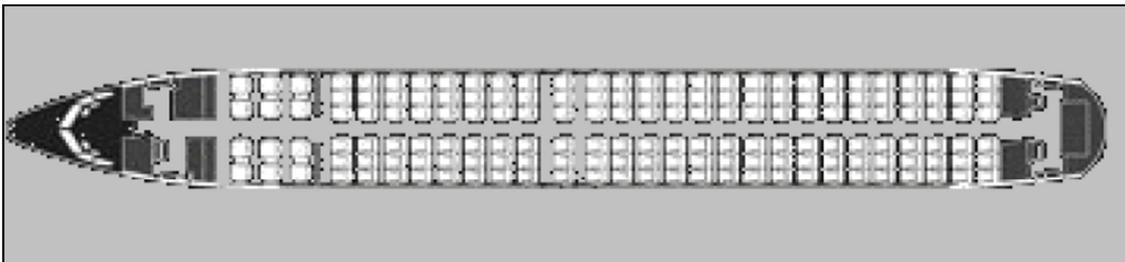


Figura 4.4: Mapa de asientos típico del Boeing 737-800

4.1.3.3. Fuselaje ancho Airbus

- **A300**, (Figura 4.5) es un avión comercial de reacción, bimotor y de fuselaje ancho, desarrollado y fabricado por el consorcio europeo Airbus. Entre 1974 y Julio de 2007 fueron fabricados un total de 843 unidades: Fue el primer avión de pasajeros de fuselaje ancho bimotor del mundo.
- **A310**, es un avión de pasajeros bimotor de medio a largo alcance y fuselaje ancho. Fue presentado en julio de 1978 por Airbus. El A310 se desarrolló como un derivado del A300, diferenciándose de este por ser un modelo de menor longitud y con mayor alcance. Este modelo ha sido utilizado intensivamente en las rutas transatlánticas.
- **A330**, el origen de este avión data de los años 1970 como uno de los distintos modelos derivados del primer avión de pasajeros de Airbus, el A300. Las distintas versiones de este aparato tienen un alcance que va desde los 7.400 a los 13430 km y tiene capacidad para acomodar hasta 335 pasajeros.
- **A340**, es un avión comercial de reacción, cuatrimotor, de largo alcance y fuselaje ancho. Realizó su primer vuelo el 25 de Octubre de 1991, y consiguió la certificación europea en Marzo de 1993. Tiene capacidad para hasta 375 pasajeros en las versiones estándar y hasta 400 en la serie 600, que es la más larga.
- **A350**, es una familia de aviones comerciales a reacción de fuselaje ancho, en proceso de desarrollo por parte del fabricante europeo Airbus. Es la primera aeronave diseñada por Airbus en las que tanto el fuselaje como las estructuras del ala están formados principalmente por materiales compuestos. Puede transportar entre 250 y 350 pasajeros dependiendo de la versión.
- **A380**, Es un avión tetrareactor, se trata de la primera nave a reacción con dos cubiertas a lo largo de todo el fuselaje. Posee una capacidad máxima de 853 pasajeros, convirtiéndose en el avión comercial más grande del mundo. El primer vuelo se llevó a cabo en Abril de 2005, realizando su primer vuelo comercial el 25 de octubre de 2007 con la aerolínea Singapore Airlines.

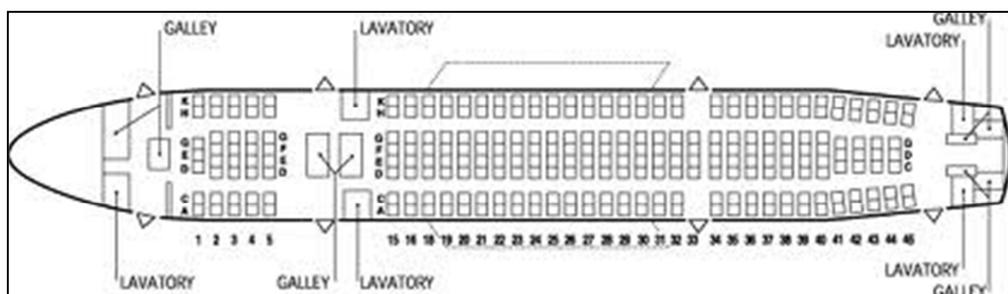


Figura 4.5: Mapa de asientos Airbus A300

La siguiente tabla muestra algunas de las características técnicas de esta aeronave [16]:

Marca	Airbus
Modelo	A340-300
País	Francia
Año	1991
Longitud	63.6 m
Altura	16.85 m
Envergadura	60.3 m
Motores	4x CFM56
Pasajeros	295
Peso máximo al despegue	276 tn
Peso máximo de aterrizaje	192
Carga máxima de combustible	147.850 l
Alcance	13.700 km

Tabla 4.2: Especificaciones Airbus A340-300

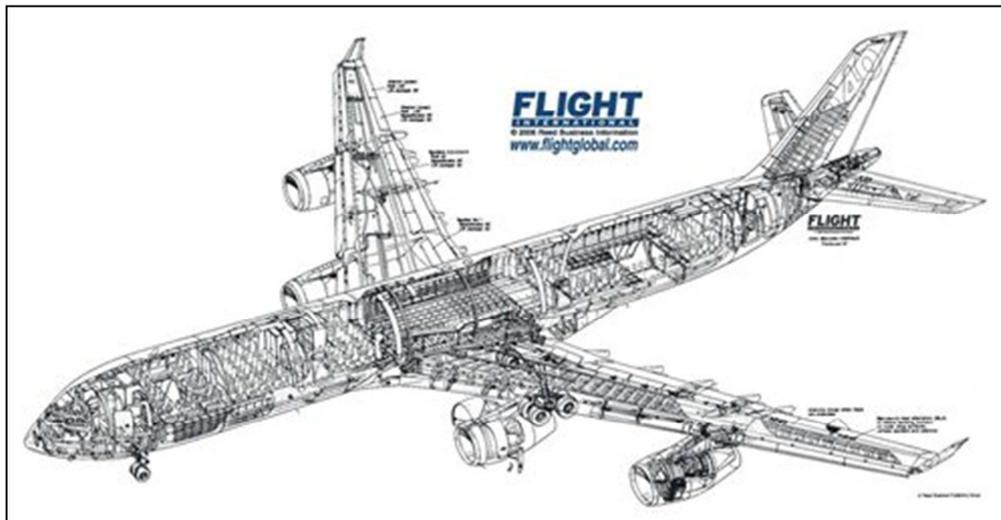


Figura 4.7: Estructura Airbus A340-300

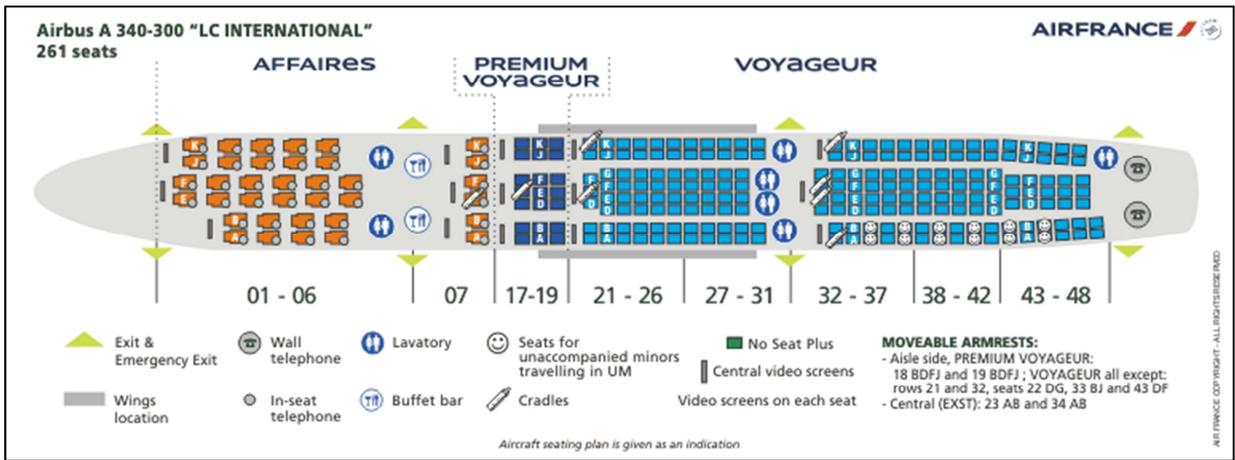


Figura 4.8: Interior Airbus A340-300 conf 3 clases

4.2. PERSONAS

4.2.1. Introducción

Este capítulo se focaliza en el eslabón más importante en el cual se enmarca este estudio, en las personas, o en este caso más concretamente en las personas a bordo del avión, los pasajeros, ya que el procedimiento de emergencia está hecho por humanos y para humanos.

Además de los pasajeros se debe tener en cuenta a las personas que hacen posible la realización del vuelo, el número de personas a bordo de la aeronave dependerá de diversos factores y, en todo caso la normativa Rac-Ops Subparte N, referente a la tripulación de vuelo establece que el operador garantizará que:

- La composición de la tripulación de vuelo y el número de miembros de la misma en los puestos designados, no sean menores que, y cumplan con el mínimo especificado en el Manual de Vuelo Aprobado (AFM) [17].

Por otra parte es importante distinguir la composición de la tripulación, la normativa habla de tripulación (*crew*) y distingue entre dos tipos de miembros:

- Tripulación de vuelo (*flight crew*)
- Tripulación auxiliar de cabina (*cabin crew*)

La normativa, como ya se ha mencionado en apartados anteriores también contempla la necesidad de distinguir entre diferentes tipos de pasajeros en función de diversos aspectos a considerar.

El propósito de este capítulo es dar a conocer las diferentes variables que conforman el aspecto humano en los vuelos comerciales, dando especial relevancia a la parte ocupantes (pasajeros), ya que es el motivo de la simulación y, obviar la parte compuesta por el personal responsable de vuelo, en lo que a simulación se refiere, ya que no se contempla en el modelo.

En los siguientes apartados se explica con mayor detalle lo referente al factor humano en vuelo y como se define en el software de simulación.

4.2.2. On board

Dentro del personal de vuelo o aeronavegantes se distingue entre el personal que realiza funciones técnico-aeronáuticas (el comandante y pilotos de la aeronave, mecánicos y radiotelegrafista) y los que realizan funciones aeronáuticas no técnicas (sobrecargo y azafatas) [18].

4.2.2.1. Tripulación de vuelo (*flight crew*)

La *tripulación de vuelo* es también conocida como tripulación técnica, y está compuestas por las personas que desarrollan sus funciones dentro de la cabina de vuelo piloto y copiloto generalmente).

La *cabina* de una aeronave contiene el instrumental y los controles que permiten al piloto hacer volar, dirigir y aterrizar el aparato. En la mayoría de las aeronaves comerciales, una puerta separa la cabina de vuelo de la cabina de pasajeros. Después de los atentados del 11 de septiembre del 2001, las principales aerolíneas tomaron medidas para fortificar la cabina con el objetivo de evitar cualquier posible secuestro.

- **Comandante, piloto o piloto a los mandos** dependiendo del país o aerolínea, se denomina al responsable del vuelo.
Para la aplicación de las normas internacionales de Navegación Aérea, se usa la denominación de Piloto al mando (*Pilot in command* o PIC en inglés). La definición jurídica estricta de PIC puede variar de país a país. La definición dada por OACI es:
“Piloto responsable de la operación y seguridad de la aeronave durante el tiempo de vuelo” [19].
- El **copiloto o primer oficial** (*first officer*), es la persona que vuela en el asiento derecho de la cabina de vuelo. De alguna forma, la función y entrenamiento que cumple es el mismo que en el caso del comandante, con la peculiaridad que este último es el responsable del avión ante la ley.
Según las diferentes normativas al respecto, el copiloto es quien asiste al piloto en la ejecución de las maniobras de vuelo (aunque en la realidad y generalmente el copiloto es quien realiza más etapas del vuelo).

4.2.2.2. Tripulación auxiliar de cabina (*cabin crew o TCP*)

- **OPS 1988. Aplicación**, el operador garantizará que todos los miembros de la tripulación de cabina cumplan los requisitos de la presente subparte y cualesquiera otros requisitos de seguridad que les sean aplicables. Para los fines del presente reglamento por “miembro de tripulación de cabina de pasajeros” se entiende cualquier miembro de la tripulación, que no sea miembro de la tripulación de vuelo y que desempeñe, en la cabina de pasajeros de un avión, las funciones que le hayan asignado el operador o el comandante, en beneficio de la seguridad de los pasajeros.
- **OPS 1990. Número y composición de la tripulación de cabina de pasajeros**, a) el operador únicamente explotará un avión con una configuración máxima aprobada de más de 19 asientos para pasajeros para transportar a uno o más pasajeros cuando en la tripulación se incluya un tripulante de cabina de pasajeros, como mínimo, para desempeñar las funciones especificadas en el manual de operaciones en beneficio de la seguridad de los pasajeros.

b) para cumplir lo dispuesto en el punto a), el operador garantizará que el número mínimo de miembros de la tripulación de la cabina de pasajeros sea el mayor de los números que se obtienen de calcular:

1- un miembro de la tripulación de cabina de pasajeros por cada 50 asientos de pasajeros o fracción de 50, instalados en el mismo piso del avión o,

2- el número de miembros de de la tripulación de cabina de pasajeros que hayan participado activamente, en la cabina del avión, en la correspondiente demostración de la evacuación de emergencia, o que se suponga que han tomado parte en el análisis correspondiente, excepto que, cuando la configuración máxima de asientos aprobada para pasajeros sea menor, por lo menos en 50 asientos, del número de asientos evacuados durante la demostración, el número de miembros de la tripulación de cabina de pasajeros se podrá reducir en uno por cada múltiplo entero de 50 asientos en que la configuración máxima aprobada de asientos de pasajeros sea menor de la capacidad máxima certificada.

- **OPS 1.1000. Sobrecargo, a)** el operador nombrará un sobrecargo cuando la tripulación de cabina de pasajeros esté compuesta por más de un miembro. En caso de que se asigne más de un tripulante de cabina de pasajeros a una operación en la que solo se exija un tripulante, el operador designará a uno de los miembros de la tripulación de cabina de pasajeros como responsable ante el comandante.
- b)** el sobrecargo será responsable ante el comandante de la dirección y coordinación de los procedimientos ordinarios y de emergencia especificados en el manual de operaciones.

4.2.3. Pasajeros

Con el fin de incrementar o mejorar la seguridad de las personas que viajan a bordo de una aeronave y del vuelo en sí, la normativa distingue entre diferentes tipos de pasajeros en función fundamentalmente de la capacidad de reacción individual en caso de ser necesaria una evacuación.

Generalmente, se pueden diferenciar tres grupos bien diferenciados, los pasajeros “estándar”, *pasajeros con necesidades especiales* y *pasajeros con movilidad reducida*.

Se pueden considerar pasajeros estándar los que no son pasajeros con movilidad reducida ni necesitan ningún de tipo de atención especial por parte de la aerolínea o del servicio que puede proporcionar el ente explotador del Aeropuerto correspondiente.

A continuación se define a los pasajeros no estándar y algunos conceptos que, sobre ellos, establece la normativa [20].

4.2.3.1. Pasajeros con necesidades especiales

Se trata de personas que sin ser personas con discapacidad ni enfermos, sí necesitan una cierta ayuda del personal de las compañías para sus trámites de salida o llegada, como puedan ser personas de avanzada edad, personas no acostumbradas a volar, etc. Las ayudas requeridas a estas personas, en la mayoría de casos, las prestan las compañías sin obligación contractual y en la medida de lo posible dentro de las disponibilidades de personal en el momento de embarque y desembarque.

En este grupo también se contemplan los menores y embarazadas, en cada caso, tanto las compañías operadoras de los vuelos como el ente explotador del aeropuerto están obligadas a cumplir con la normativa en vigor correspondiente.

- **Infantes (bebés)**, se considera a los niños que no hayan cumplido 2 años en el momento de la fecha del vuelo, no tienen derecho a asiento, pero sí a la misma franquicia de equipaje que los pasajeros.
- **Menor**, se considera a aquellas personas entre 2 y 12 años sin cumplir. Tienen derecho a asiento y franquicia de equipaje. Las aerolíneas no tienen ninguna restricción sobre el número de menores a bordo, la única restricción es que no pueden viajar en asientos que sean salidas de emergencia.

Especial atención se requiere en el caso de menores que no vayan acompañados, cada aerolínea utiliza sus propias políticas y recursos, aunque siempre dentro de lo establecido por la normativa.

Dependiendo del número de menores, la normativa exige un determinado número de acompañantes.

La siguiente tabla muestra la relación entre menores entre 5 años y 12 sin cumplir y acompañantes mínimos mayores de edad.

Hasta	23 menores	1 acompañante
Entre	24-35 menores	2 acompañantes
Entre	36-47 menores	3 acompañantes

Tabla 4.3: Relación número de acompañantes /número de menores

- **Embarazadas**, al cumplir 28 semanas de gestación (calculadas usando la fecha estimada de alumbramiento), la pasajera deberá presentar certificado médico expedido por su médico en los últimos 7 días previos a la fecha del vuelo, confirmando la conveniencia a volar.

Las compañías no aceptan en sus vuelos a mujeres en estado más allá de las 36 semanas de gestación. No obstante, si la mujer necesita viajar en esas fechas deberá consultar obligatoriamente a su médico, quien decidirá sobre la conveniencia o no de volar.

Después del parto, las mujeres podrán volar pasado una semana del mismo.

- **Enfermos**, son aquellos pasajeros cuya condición física o mental es tal que requieren una atención especial por parte del transportista. Para ser aceptado al vuelo, es condición indispensable presentar un certificado médico que establezca que está en condiciones de viajar. Asimismo deberá firmar un descargo de responsabilidad antes de embarcar.

4.2.3.2. Pasajeros con movilidad reducida

Se considera **persona con discapacidad o movilidad reducida** a toda persona cuya movilidad para utilizar el transporte se halle reducida por motivos de discapacidad física (sensorial o locomotriz, permanente o temporal), discapacidad o deficiencia intelectual, o cualquier otra causa de discapacidad, o por la edad, y cuya situación requiera una atención adecuada y la adaptación a sus necesidades particulares del servicio puesto a disposición de los demás pasajeros.

La normativa considera que estos pasajeros no podrán ocupar los asientos situados junto a las salidas de emergencia.

Acompañante capacitado:

No se exige Acompañante Capacitado a cualquier persona auto-suficiente capaz de asistirse a sí misma en su propia evacuación de la aeronave. En la práctica, ser auto-suficiente significa cualquier persona que sea capaz de desabrocharse su cinturón de seguridad, abandonar su asiento y alcanzar una salida de emergencia sin ayuda, obtener y ajustarse un chaleco salvavidas, y ponerse una mascarilla de oxígeno sin asistencia, y es capaz de entender las instrucciones de seguridad, así como cualquier asesoramiento o instrucción proporcionada por la tripulación en una situación de emergencia (incluyendo información comunicada en los formatos accesibles).

Un **Acompañante capacitado** será cualquier persona mayor de 12 años en vuelos domésticos o 15 años en vuelos internacionales que está dispuesta y sea capaz de asistir físicamente al pasajero con movilidad reducida en caso de emergencia o para entender y aplicar las instrucciones de seguridad.

La normativa también establece que un ciego podrá volar con su perro lazarillo, el cual viajará en cabina con él aun cuando supere los 8 kg de peso. Dicho perro deberá viajar con bozal y con cartilla de vacunaciones en regla.

4.3. Movimiento de los humanos

4.3.1. Introducción

Con el objetivo de conseguir unos resultados de simulación que se acerquen lo máximo posible a la realidad, es fundamental detectar y comprender los diferentes movimientos que realiza el ser humano como respuesta a algún tipo de estímulo. En ciertas ocasiones, estos movimientos y su tiempo de reacción son básicos para mantener la vida.

Los seres vivos realizan movimientos en respuesta a diferentes estímulos que reciben del exterior, es decir, del medio ambiente. Pero también hay estímulos internos de nuestro organismo que implican movimiento, para lograrlo intervienen partes y sistemas como los que se describen a continuación:

- ***El esqueleto***, que sirve de soporte de nuestro cuerpo, está formado por huesos, articulaciones y cartílago. Ayuda al movimiento, almacena minerales, produce las células de la sangre y protege los órganos internos (Figura 4.9).
- ***Las articulaciones***, las cuales intervienen para el desarrollo del movimiento, son el conjunto de estructuras que permiten la unión de dos o más huesos, y son fundamentales para que el aparato locomotor trabaje adecuadamente.
- ***El sistema muscular***, con el que podemos adoptar diferentes posiciones con el cuerpo. Al girar o parpadear interviene el sistema muscular, responsable de que varios de los órganos muevan sustancias de un lugar a otro, como la sangre y demás fluidos corporales.
- ***El sistema nervioso***, que permite el trabajo armonioso entre el esqueleto, las articulaciones y los músculos para que puedan trabajar generando el movimiento.

El sistema nervioso, formado por el cerebro, la espina dorsal y los nervios, es el encargado de transmitir la información a través del cuerpo. Este sistema se encarga de detectar también los cambios en el ambiente, y como resultado de esto se dan ciertas respuestas, entre ellas el movimiento.

Pero con el paso del tiempo el cuerpo pierde movilidad debido a que en la columna vertebral, que es una de las partes más flexibles del cuerpo, van creciendo protuberancias óseas que se van endureciendo y le quitan flexibilidad a la columna [21].

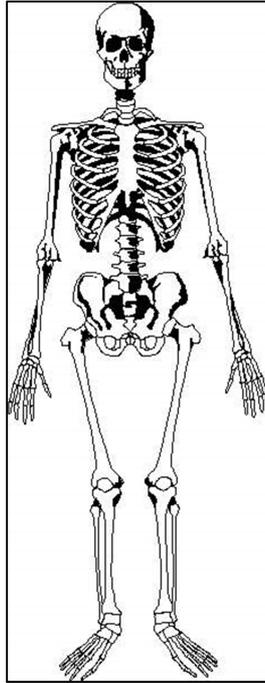


Figura 4.9: Esqueleto humano

4.3.2. Movimientos en el procedimiento

Inicialmente, los pasajeros a bordo de una aeronave en vuelo permanecen en posición de sedestación (reposo), la ergonomía de los asientos está diseñada para ello. En circunstancias de vuelo normales, los pasajeros pasan la mayor parte del trayecto en dicha posición, solo la cambian por algún motivo eventual, la estricta normativa aeronáutica no da lugar a más opciones.

Para la realización de este estudio ha sido necesario detectar los diferentes movimientos que se realizan desde que se emite la señal de evacuación por los responsables a bordo del avión y los pasajeros abandonan la aeronave hasta un lugar seguro.

Los tipos de movimiento que podemos encontrar son los siguientes [22]:

- Paso de sedestación a bipedestación
- Bipedación o desplazamiento bípedo
- Salto al tobogán
- Deslizamiento por el tobogán

A continuación se explican los movimientos.

4.3.2.1. Paso de sedestación a bipedestación

Sedestación, término utilizado inicialmente en medicina para indicar que el sujeto se encuentra sentado [23].

Bipedestación o bipedismo es la denominación para la forma de locomoción adoptada parcial o totalmente por animales tetrápodos sobre sus dos extremidades inferiores, es decir, posición en pie [24].

El primer movimiento a realizar en caso de proceder a una evacuación será el paso de sedestación a bipedestación (Figura 4.10), se trata de una transferencia de la posición (cambio de postura) en la cual se pasa de estar sentado a estar de pie.

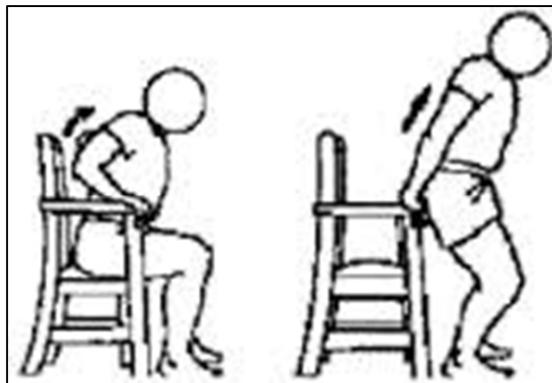


Figura 4.10: Paso de sedestación a bipedestación

Todos los ocupantes realizarán este movimiento durante el transcurso de la maniobra, una vez se inicie y al finalizar, para incorporarse del deslizamiento por el tobogán.

4.3.2.2. Bipedación

La **bipedación o desplazamiento bípedo** consiste en el desplazamiento horizontal del centro de gravedad del humano en posición erguida, mediante el movimiento alternativo de las extremidades y del tronco y un complejo mecanismo de apoyos y transferencias de las extremidades inferiores en el suelo para equilibrar e intercambiar energía cinética y potencial y disipar una parte[25].

También se define como el proceso evolutivo que condujo al hombre a adquirir esta capacidad (ponerse de pie) como ilustra la Figura 4.11 [26].

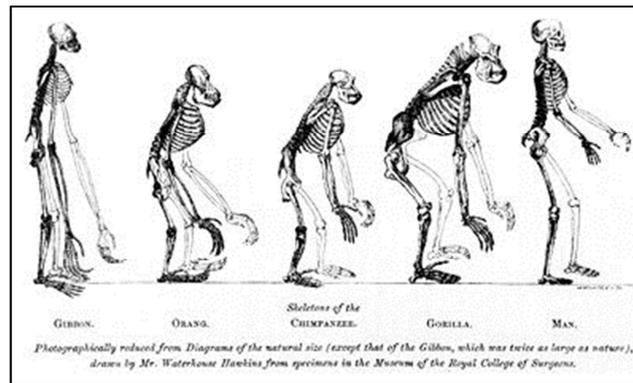


Figura 4.11: Bipedación

La bipedación se puede clasificar por la dirección preferente de la velocidad en:

- **Frontal:** consiste en un movimiento de avance complejo, alternativo y rítmico de extremidades y tronco mediante compensación de pérdidas de equilibrio controladas e impulsos: a través de una acción muscular se saca el eje de gravedad por delante del polígono de soporte (pérdida de equilibrio) y se contrarresta el movimiento de caída del centro de masas adelantando el pie correspondiente y haciendo un apoyo talígrado (talón), seguido de un apoyo plantígrado (antepié y arco externo) para cargar todo el peso sobre un pie y para finalmente impulsarse mediante un apoyo digitígrado (metatarso).
- **Lateral:** consiste en el movimiento lateral y alternativo, principalmente de las piernas, para compensar el desequilibrio del centro de masas hacia el lado deseado de movimiento. También se diferencia de la bipedación frontal por ser fundamentalmente plantígrada y más lenta.

Cualquier movimiento de bipedación suele constar de tres fases:

1. Fase inicial de desarrollo desde el reposo (transitorio inicial)
2. Estadio rítmico a velocidad constante (estacionario)
3. Fase inicial de descenso hasta el reposo (transitorio final)

En la bipedación normal los regímenes transitorios son significativamente más cortos y menos influyentes que el régimen estacionario.

El tipo de movimiento más frecuente en la maniobra de evacuación es el desplazamiento puramente frontal, por ser el más rápido. No se utiliza el desplazamiento dorsal (hacia atrás) porque es mucho más lento que el frontal y compensa girar 180° y desplazarse frontalmente.

Se utiliza el desplazamiento puramente lateral cuando la geometría impide el giro, como en el caso de los corredores entre filas de asientos. Obviamente, el desplazamiento lateral es considerablemente más lento que el frontal de avance, así que será exclusivamente cuando haya restricciones que impidan el desplazamiento puramente frontal. En este estudio, no se contemplan movimientos relacionados con el giro.

4.3.2.3. Salto al tobogán

Una vez los pasajeros están ante la puerta de emergencia, con el tobogán inflado y siguiendo las instrucciones de los TCP's, deben saltar hacia delante. El protocolo obvia el sentarse en el borde y dejarse deslizar.

El *salto al tobogán* consta de un impulso horizontal para separarse del umbral de la salida o del borde de salida del ala, seguido de un movimiento de caída libre hasta contactar con un tobogán neumático (Figura 4.12).

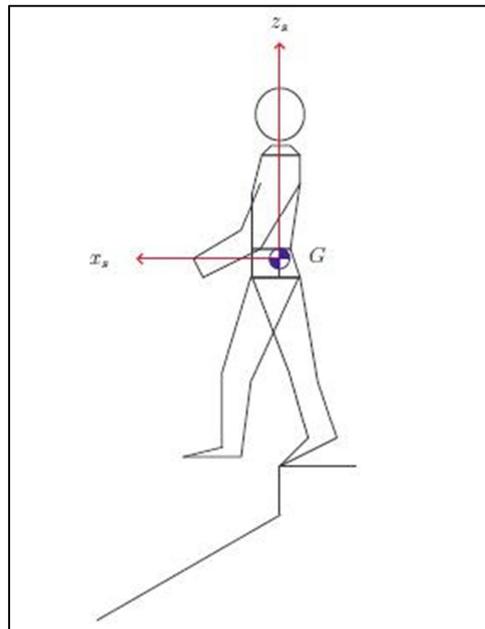


Figura 4.12: Salto al tobogán

Su duración es muy corta comparada con otras etapas de los movimientos de evacuación, por lo tanto, tiene menos influencia sobre el tiempo total.

Si la evacuación usa toboganes neumáticos, como en el caso de este proyecto, todos los ocupantes realizan un salto al tobogán seguido de un deslizamiento por tobogán. En caso de uso de medios de descenso rígidos, no se realizan estos dos tipos de movimientos.

4.3.2.4. Deslizamiento por el tobogán

El *deslizamiento por el tobogán* consiste en el movimiento de un humano en contacto con un tobogán (normalmente a través de Glúteos, Bíceps crurales y Gastrocnemios) y con deslizamiento (Figura 4.13).

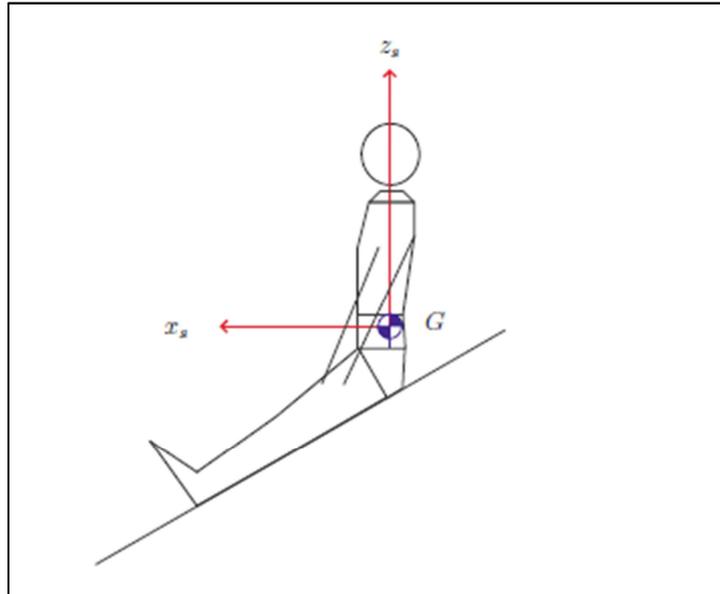


Figura 4.13: Deslizamiento por el tobogán

La duración de este tipo de movimiento está regida por la aceleración que produce la descompensación dinámica entre la componente tangencial del peso humano y fuerza de rozamiento tobogán-humano. Hay muy pocas cuestiones biomecánicas que puedan tener alguna influencia significativa [25].

4.3.3. Estimación de tiempos

Realizar el modelado de la simulación requiere encontrar la distribución de tiempos asociados a cada movimiento. Para realizar una buena estimación, lo ideal sería disponer de datos empíricos reales tomados en simulacros de evacuación, pero, debido a la limitación de recursos para poder realizar este proyecto y a la dificultad de disponer de estos datos se buscarán tiempos estimados de forma cuasi subjetiva por el autor.

Inicialmente, se parte de la base de tres tiempos estimados (Tabla 4.4) que conformaran un intervalo de confianza (IC) para cada tipo de pasajero y etapa de movimiento.

Un *intervalo de confianza*, en el contexto de estimar un parámetro poblacional, es un rango de valores en el cual se encuentra el verdadero valor del parámetro, con una probabilidad determinada.

NOTACIÓN	DEFINICIÓN
T_m	Tiempo mínimo
T_r	Tiempo de reacción medio
T_x	Tiempo máximo

Tabla 4.4: Tiempos estimados

En la Tabla 4.5.se muestra el intervalo de confianza estimado a partir del cual se generaran muestras aleatorias en cada caso concreto para posteriormente realizar los experimentos y análisis de tiempos de evacuación en Simio.

$$IC = (T_m ; T_r ; T_x)$$

	Desplazamiento (m/s)	Levanta (s)	Salta (s)	Rampa (s)
1	(4 - 4,6)	(0,3 - 0,6)	(0,15 - 0,3)	(1,3 - 1,7)
2	(4 - 4,6)	(0,5 - 0,9)	(0,15 - 0,3)	(1,4 - 1,8)
3	(4 - 4,6)	(0,4 - 0,7)	(0,15 - 0,3)	(1,3 - 1,7)
4	(4 - 4,6)	(0,6 - 1)	(0,15 - 0,3)	(1,4 - 1,8)
5	(4 - 4,6)	(0,3 - 0,9)	(0,15 - 0,3)	(1,2 - 1,6)
6	(1 - 3,6)	(1 - 2)	(0,3 - 0,5)	(1,5 - 1,9)

Tabla 4.5: Relación IC pasajeros/tiempo

Los 4 movimientos que se detectan durante las evacuaciones explicados en el apartado anterior (4.3.2.movimiento de los humanos), quedan resumidos en la tabla 4.5, aunque para obtener una comprensión gráfica y más rápida se cambia el nombre de los movimientos:

- Paso de sedestación a bipedestación → Levanta
- Bipedación o desplazamiento bípedo → Desplazamiento
- Salto al tobogán → Salta
- Deslizamiento por el tobogán → Rampa

A continuación se explican los diferentes tipos de personas (pasajeros) que se tienen en cuenta en el modelo realizado, en el modelado en Simio a los pasajeros se les denominan entidades y se distinguen por tipos.

- Tipo 1 → Hombre < 50 años
- Tipo 2 → Hombre > 60 años
- Tipo 3 → Mujer < 50 años
- Tipo 4 → Mujer > 60 años
- Tipo 5 → Hombre/mujer entre 51/59 años
- Tipo 6 → Pasajeros de Movilidad Reducida PMR

Como ya se ha comentado, no se han podido encontrar fuentes de tiempos fiables para realizar los diferentes experimentos y conseguir con ello, la posibilidad de comparar tiempos de evacuación reales obtenidos del ensayo de evacuación al cual se someten los fabricantes de aviones y el modelo de simulación propuesto en este trabajo.

El movimiento desplazamiento, que en este caso corresponde a una persona que se desplaza corriendo se obtiene de consultar diferentes fuentes a través de la red. Dicho tiempo difiere en función de la fuente que se consulta, pero se concluye que el tiempo promedio en el cual una persona no atlética corre puede variar entre los 12 y 18 km/h, por ello el intervalo estimado en este trabajo oscila entre 4 y 4.6 m/s en el caso de los pasajeros considerados del 1 al 5, como es obvio, este tiempo se incrementa en el caso de pasajeros de movilidad reducida (PMR), considerados en el modelo como entidades del tipo 6. En el caso del resto de tiempos estimados se han obtenido tomando tiempo con conocidos del autor o a través de internet observando vídeos de evacuaciones en aeronaves.

CAPÍTULO 5. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO EN SIMIO

5.1. Introducción

En este capítulo se propone un desarrollo del modelo presentado en apartados anteriores en el software de simulación Simio. Se detallan paso a paso las instrucciones más relevantes que se siguieron para su creación.

5.2. Creación de objetos personalizados

A partir de objetos estándar, se crean objetos personalizados con características particulares para representar el sistema. Éstos son los diferentes tipos de pasajeros, el avión con sus ubicaciones, etc.

5.3. Submodelo avión

La Figura 5.1 muestra la disposición de la configuración de asientos del avión que se modeló, donde para llevar un mejor seguimiento y nombrar cada asiento se divide en tres secciones que representan las diferentes clases en que se puede viajar.

Cada asiento, tiene una nomenclatura distinta correspondiente a la sección, fila y butaca, con un total de 259 asientos.

Este escenario se modela a través de una descarga realizada desde el software en la opción que permite descargar objetos, son estructuras ya hechas a partir de las cuales se puede empezar a componer el modelo.

La Figura 5.1 muestra la estructura del avión propuesto descargado en vista 3D:

- La parte de proa encuadrada entre líneas de color rojo corresponde a la sección 1 (S1), seguida de la sección 2 (S2) y sección 3 (S3).
- Cada flecha de color rojo indica una salida de emergencia, en total el avión seleccionado dispone de 8 salidas, 4 en cada lado.
- Las líneas de color púrpura son los pasillos del avión, por los cuales pueden desplazarse los ocupantes.

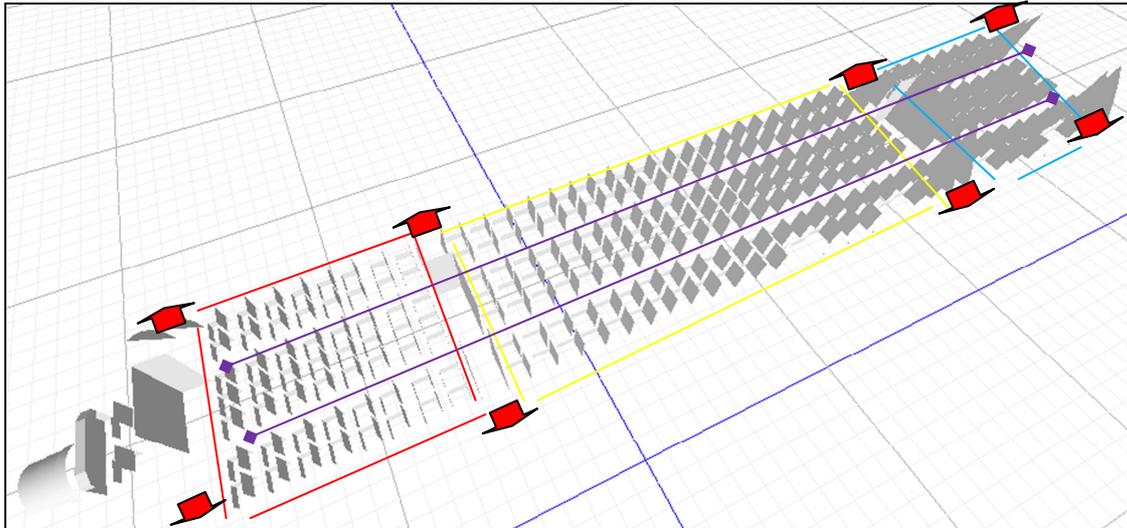


Figura 5.1: Estructura avión Airbus A340 de Simio

La sección 1 y 3 tienen el mismo número de butacas, siendo la sección central diferente a las anteriores y la de mayor tamaño.

La Tabla 5.1 muestra el número de asientos, y filas para cada sección:

Sección	Filas	Butacas	Nº asientos
S1	8	7	56
S2	21	7	147
S3	8	7	56
Total	37		259

Tabla 5.1: Detalle de las secciones que componen el avión

Los asientos se representan a partir de un *TransferNode* clasificado con la nomenclatura correspondiente, las butacas son los únicos nodos no conectados con otros nodos en el modelo.

La Figura 5.2 que se observa a continuación, corresponde a la sección 1 del avión, se puede apreciar la representación de los asientos y filas.

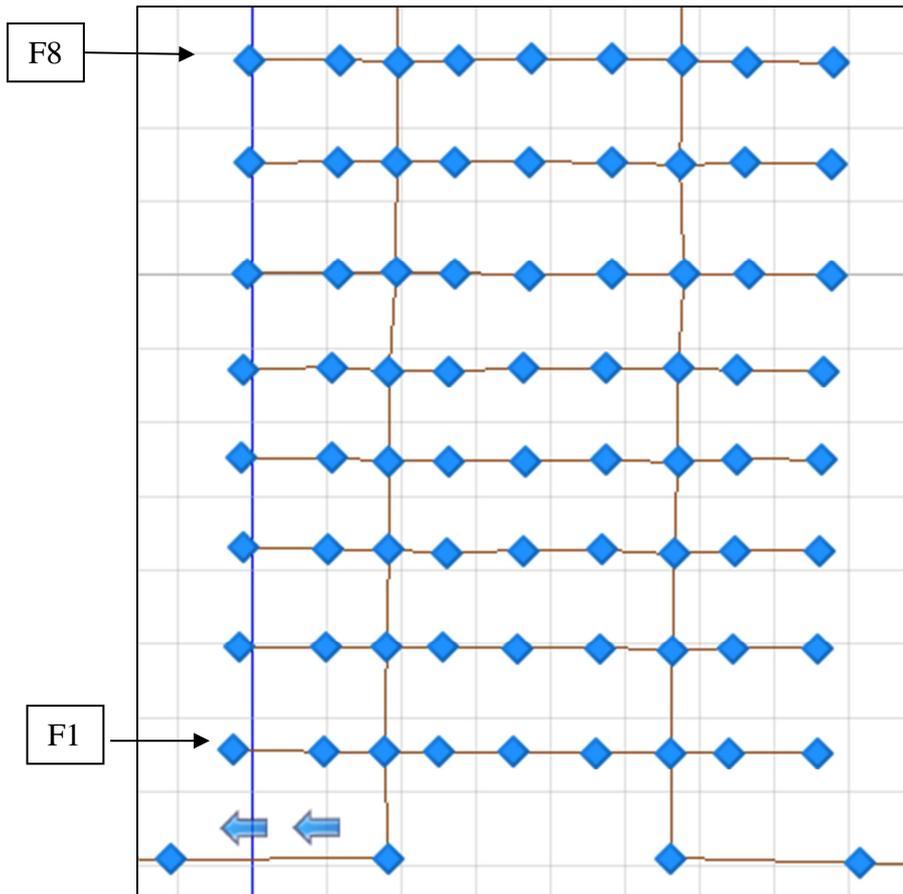


Figura 5.2: Sección 1 del modelo

Seguidamente se observa en la siguiente figura detalle de dos asientos que corresponden a la sección 1, nombrados S1_F1_B1 y S1_F1_B2, corresponden a la sección 1 (S1), fila 1 (F1) y butaca 1 y 2 respectivamente (B1, B2).

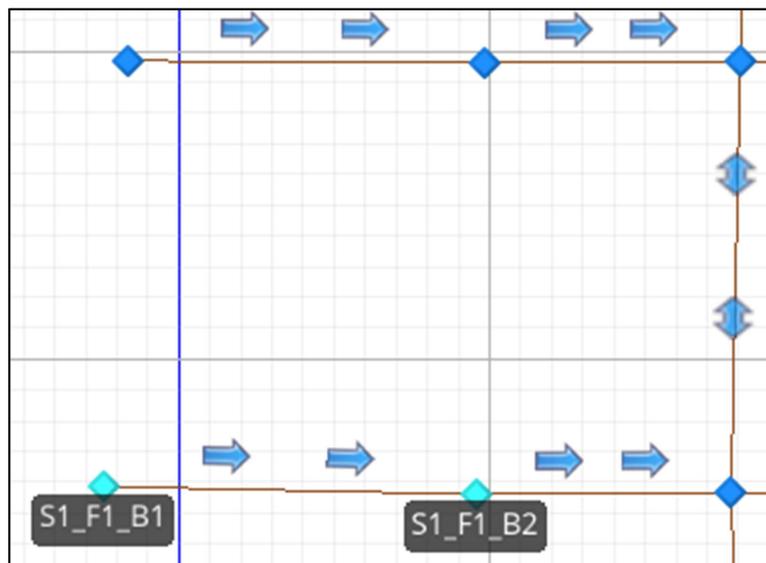


Figura 5.3: Detalle nomenclatura de asientos

5.4. Entidades (pasajeros)

El primer paso para proceder a la simulación y posteriormente al análisis de los datos consiste en la creación de los pasajeros, es decir, las entidades.

En la normativa de ensayo de evacuación, la AC 25.803-1 de 1989, la FAA propone la siguiente configuración de pasajeros [22]:

Age and Gender	Percent of Total Passengers
Male 21-50	Not to exceed 56
Male 51-59	At least 9
Male 60+	At least 3.5
Female any age	At least 24
Female 51-59	At least 6
Female 60+	At least 1.5

Tabla 5.2: Configuración propuesta por las autoridades

Observar que en este caso la normativa no propone realizar el ensayo con pasajeros de movilidad reducida. En este proyecto si se tiene en cuenta a este tipo de pasajeros, y es motivo de estudio trabajar con diferentes capacidades entorno a ellos.

Para crear las entidades se trabaja desde una hoja de cálculo Excel como la de la Figura 5.4.

TIPO DE ENTIDADES			GENERAR	TIPO PAX	UBICACIÓN
ENTIDAD	GÉNERO/EDAD	OCUPACIÓN MAX.			
1	H < 50 años	64%		1	S1_F1_B1
2	H > 60 años	3,50%		1	S1_F2_B1
3	M < 50 años	9%		3	S1_F3_B1
4	M > 60 años	1,50%		1	S1_F4_B1
5	51 > H/M < 59	20%		2	S1_F5_B1
6	PMR	15%		5	S1_F6_B1
				1	S1_F7_B1
				5	S1_F8_B1
				5	S1_F1_B2
				1	S1_F2_B2
				1	S1_F3_B2
				5	S1_F4_B2
				1	S1_F5_B2
				5	S1_F6_B2
				1	S1_F7_B2
				1	S1_F8_B2
				3	S1_F1_B3
				2	S1_F2_B3
				5	S1_F3_B3
				1	S1_F4_B3
				1	S1_F5_B3
				1	S1_F6_B3
				5	S1_F7_B3
				1	S1_F8_B3
				3	S1_F1_B4
				3	S1_F2_B4
				1	S1_F3_B4
				2	S1_F4_B4
				1	S1_F5_B4
				1	S1_F6_B4
				1	S1_F7_B4
				1	S1_F8_B4
				5	S1_F1_B5
				1	S1_F2_B5
				1	S1_F3_B5
				5	S1_F4_B5

GENERACIÓN ENTIDADES		
ENTIDAD	OCUPACIÓN(%)	PAX
1	0,64	166
2	0,035	9
3	0,09	23
4	0,015	4
5	0,2	52
6	0,02	5
Total	1	259

COMPROBACIÓN ENTIDADES		
ENTIDAD	PAX	CHECK
1	166	OK
2	9	OK
3	23	OK
4	4	OK
5	52	OK
6	5	OK

E6 dif exit: door	
UBICACIÓN	CHECK
S1_F1_B1	OK
S1_F8_B1	OK
S1_F1_B7	OK
S1_F8_B7	OK
S2_F21_B1	OK
S2_F21_B7	OK

Figura 5.4: Hoja de configuración Excel

En la tabla **Tipo de Entidades**, queda definida la propuesta de configuración realizada para este proyecto. Como se ha comentado, a diferencia de la configuración propuesta por la normativa (Tabla 5.2), la entidad 6 corresponde a los pasajeros de movilidad reducida, que es objeto de este trabajo.

En la tabla **Generación Entidades**, es donde se puede elegir el porcentaje de pasajeros que queremos del tipo 6 (PMR). El porcentaje de esta capacidad hará variar la capacidad de la entidad 1, ya que el resto de entidades se consideran constantes, así como la capacidad del avión, que corresponde a una capacidad del 100%. Para poder variar el número de la entidad 6, se trabaja con un desplegable como muestra la Figura 5.5.

La **columna Pax**, hace referencia al valor absoluto de los porcentajes de cada entidad. Con una capacidad total, la suma de estos valores es de 259, que corresponde al número de asientos del modelo de avión propuesto. Con tal de localizar de forma rápida la entidad 6, en esta columna se señalan en color rojo la entidad 6.

GENERACIÓN ENTIDADES		
ENTIDAD	OCUPACIÓN(%)	PAX
1	0,64	166
2	0,035	9
3	0,09	23
4	0,015	4
5	0,2	52
6	0,02	5
Total	2% 4% 6% 8%	259
ENTIDAD	10% 12% 14% 15%	CHECK
1		OK
2		OK
3	23	OK

Figura 5.5: Detalle opción seleccionar capacidad entidad 6

El botón **Generar**, genera las el número de entidades seleccionados y, de forma aleatoria los coloca en la columna Tipo Pax.

La **columna Ubicación**, hace referencia al asiento correspondiente para esa entidad en concreto.

A modo de ejemplo, en la Figura 7.3, se ve que en la Ubicación, S1_F1_B1, para este experimente se ubicará un pasajero de tipo 1.

La tabla **Comprobación Entidades**, tiene como función comprobar que el número de entidades para cada tipo corresponde con los generados en la columna Pax, con el fin de evitar posibles errores.

La tabla **E6 dif exit door**, comprueba que en las ubicaciones situadas donde hay una salida de emergencia sea diferente a una entidad tipo 6, tal y como se establece en la normativa “los pasajeros con movilidad reducida no pueden ocupar asientos situados en las salidas de emergencia”.

Una vez creada la configuración, las columnas Tipo_pax y Ubicación se copiaran y pegaran en un segundo archivo Excel llamado Table4 como muestra la figura 5.6.

tipo	ubicacion	desplazamiento	levanta	salta	rampa
5	S1_F1_B1	4,52	0,51	0,28	1,39
1	S1_F2_B1	4,38	0,31	0,22	1,46
1	S1_F3_B1	4,39	0,43	0,23	1,33
5	S1_F4_B1	4,52	0,40	0,21	1,22
1	S1_F5_B1	4,06	0,34	0,27	1,33
3	S1_F6_B1	4,08	0,48	0,21	1,56
1	S1_F7_B1	4,08	0,43	0,28	1,35
5	S1_F8_B1	4,26	0,58	0,25	1,54
1	S1_F1_B2	4,36	0,45	0,19	1,38
1	S1_F2_B2	4,02	0,47	0,25	1,66
5	S1_F3_B2	4,19	0,74	0,21	1,25
1	S1_F4_B2	4,08	0,55	0,23	1,68
3	S1_F5_B2	4,52	0,61	0,26	1,62
1	S1_F6_B2	4,16	0,55	0,15	1,41
3	S1_F7_B2	4,22	0,53	0,27	1,70
6	S1_F8_B2	3,32	1,54	0,43	1,66
6	S1_F1_B3	1,36	1,64	0,41	1,72
6	S1_F2_B3	2,33	1,31	0,37	1,64
5	S1_F3_B3	4,06	0,43	0,22	1,20
1	S1_F4_B3	4,15	0,37	0,19	1,51
3	S1_F5_B3	4,52	0,64	0,19	1,50

Figura 5.6: Detalle archivo Table4

Las columnas desplazamiento, levanta, salta y rampa de la Figura 5.6, son valores del tipo real generados aleatoriamente correspondientes a cada movimiento por cada tipo de entidad. Estos datos se extraen tal y como se explica de forma teórica en el apartado 4.3 Movimiento de los humanos.

Seguidamente es necesario pasar esta tabla con los datos que incorpora a Simio, a través de la opción importar archivos, una vez creada la tabla llamada Table1 dentro del software como se explica a continuación.

En la ventana Facility, en Data elegir opción “add data table”, seguidamente:

- Crear una columna de Propiedad Estandar del tipo entero llamada “tipo”.
- Crear una columna de Object Reference del tipo nodo llamada “ubicación”.

- Crear 4 columnas de Propiedad Estandar del tipo real y especificar el tipo de unidades, llamadas “desplazamiento”, “levanta”, “salta” y rampa”.
- Con esta tabla insertada, las entidades creadas tendrán un tipo, ubicación y 4 tiempos diferentes asignados:
- **Desplazamiento:** Es la velocidad en la que se mueven los pasajeros expresada en m/s.
- **Levanta:** Es el tiempo que los pasajeros tardan en pasar de un estado de sedestación al de bipedación (explicado anteriormente) expresado en segundos.
- **Salta:** Es el tiempo asignado a cada tipo de entidad, que indica el tiempo que tardan en saltar al tobogán expresado en segundos.
- **Rampa:** Es el tiempo de deslizamiento por el tobogán para cada pasajero expresado en segundos.

Con estos pasos, los datos necesarios para la posterior simulación, quedan insertados como muestra la Figura 5.7.

	tipo	ubicacion	desplazamiento (Meters per Second)	levanta (Seconds)	salta (Seconds)	rampa (Seconds)
▶ 1	5	S1_F1_B1	4,27987336001169	0,482971712349787	0,248350140525806	1,27680142783074
2	5	S1_F2_B1	4,09433566029139	0,678027631029329	0,214813106738505	1,41647481511567
3	1	S1_F3_B1	4,34100817240576	0,315518237411255	0,215388590497614	1,37274301079775
4	1	S1_F4_B1	4,52753173026491	0,314435417730877	0,295430961563496	1,39365797370271
5	1	S1_F5_B1	4,28061822730069	0,530741810971226	0,202155603481094	1,31076610394561
6	1	S1_F6_B1	4,03641165252603	0,476457601291179	0,281194218891246	1,61315587359584
7	1	S1_F7_B1	4,22855455095371	0,407886758668647	0,150553754671925	1,57914810954583
8	3	S1_F8_B1	4,08206821719702	0,631158088680301	0,253522064758589	1,66045696824686
9	1	S1_F1_B2	4,08605745588092	0,417148124068857	0,241961863204014	1,3676664029
10	5	S1_F2_B2	4,0453800905094	0,612705427615272	0,165441513944124	1,34751804583443
11	1	S1_F3_B2	4,27700242921281	0,398954815133774	0,230174533192256	1,56287124129464
12	1	S1_F4_B2	4,31766941205881	0,596068879400531	0,207019706700225	1,65157347176004
13	1	S1_F5_B2	4,18095892171934	0,516354319407361	0,222907429719414	1,40912479387277
14	1	S1_F6_B2	4,01919525517035	0,449305109844377	0,20712136594481	1,45540862182685

Figura 5.7: Detalle Table1 simio

En el objeto *ModelEntity* hay que definir las columnas de la tabla como atributos de cada entidad. Para ello, en la opción *States* de la ventana *Definitions* se crean dichos atributos como variables del modelo:

- **Tipo:** integer state variable. Hace referencia al tipo de entidad.
- **P_id:** integer state variable. Sirve como contador para recorrer columnas de la tabla.
- **Ubicación:** node reference state variable. Hace referencia al asiento asignado.

- **Levanta:** real state variable. Hace referencia al primer movimiento (columna 4 de la Figura 5.7).
- **Salta:** real state variable. Hace referencia a la columna 5 de la Figura 5.7.
- **Rampa:** Real state variable. Hace referencia a la columna 6 de la Figura 5.7.

Para la velocidad de desplazamiento no es necesario declarar ninguna variable en estados, ya que se asignará a Desired speed, que es un estado que ya incorpora el programa.

Para poder crear los distintos tipos de pasajeros, se debe desarrollar un proceso para crear entidades de acuerdo a los datos de configuración predeterminados.

Para ello, en la vista Procesos se crea un proceso para crear entidades llamado “Process” (Figura 5.8). A cada assign se le pasan los datos correspondientes a cada tipo de entidad de la Table1.

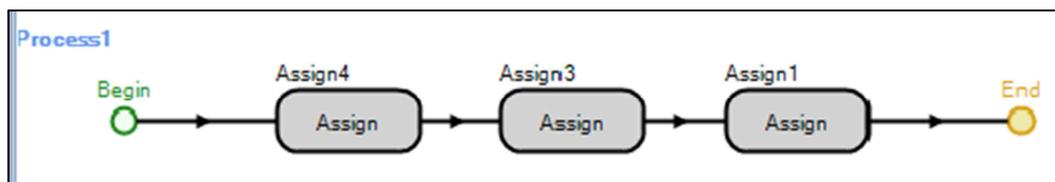


Figura 5.8: Process1

El proceso anterior creará los distintos tipos de pasajeros. Sin embargo, cada pasajero tiene un asiento asignado. Para realizar esta asignación se crea otro proceso llamado “Process2” (Figura 5.9). Al transfer del proceso se le pasa como parámetro de entrada la segunda columna de Table1, que es la ubicación.

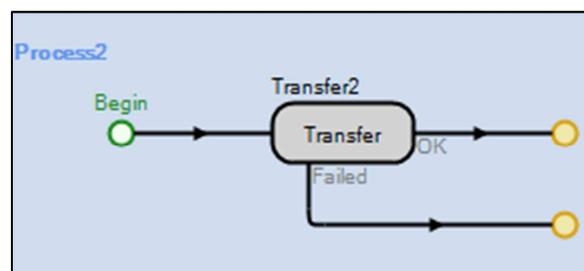


Figura 5.9: Proceso ubicación pasajeros

En el modelo se debe agregar una fuente (*Source*) que cree las entidades. Las Propiedades de la Fuente son:

- **Arrival Logic**
- **Entity Type:** pasajeros. Lee de la tabla el distinto tipo de entidades (pasajeros).
- **Arrival Mode:** on Event. Define como el Source debe crear las entidades.
- **Add-On Process**
- **Creating Entities:** Process1. Proceso para crear distintos tipo de entidades Pasajero según tabla.

Una vez realizados estos pasos, las entidades estarán generadas y ubicadas en su asiento asignado. Las Figuras 5.10 y 5.11 muestran la animación gráfica de las entidades.



Figura 5.10: Detalle animación pasajeros tipo 1, 2, 3

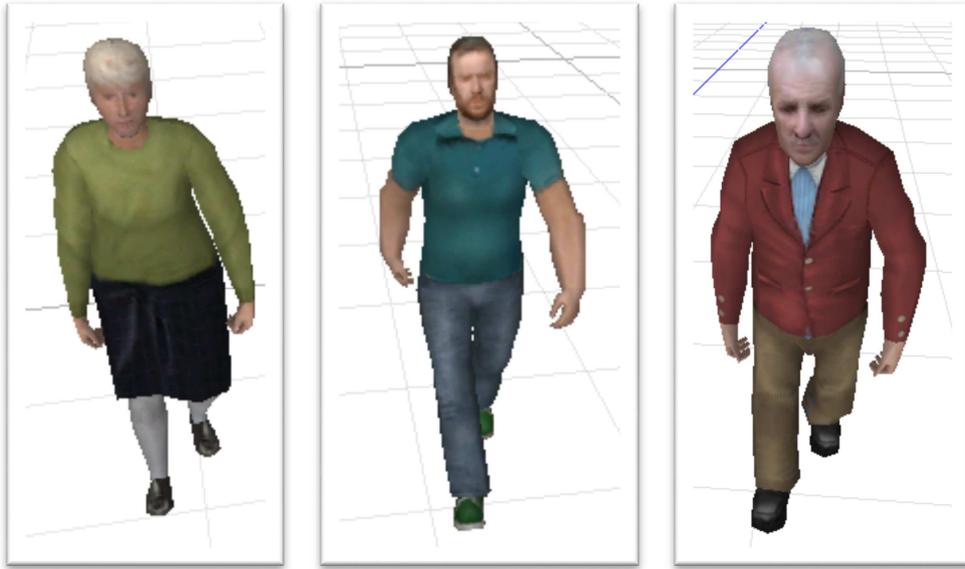


Figura 5.11: Detalle animación pasajeros tipo 4, 5, 6

5.5. Procesos

Además de los dos procesos explicados en el punto anterior referentes a las asignaciones que corresponden a cada entidad, se utilizan dos procesos más que se explican a continuación:

Proceso destí:

Una vez creadas las entidades, este proceso se asigna a todos los nodos que componen el modelo, se utiliza para indicar el camino a seguir por las entidades, en este caso hasta su destrucción, que procede a la entrada en el objeto sink.

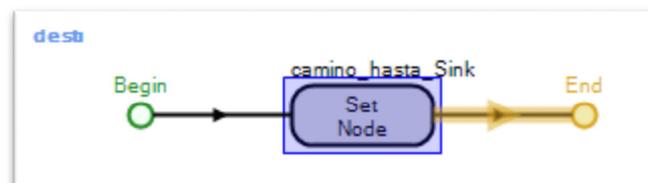


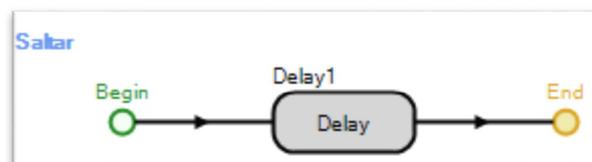
Figura 5.12: Proceso destí

Proceso levantar:

Este proceso está formado por un Delay que tiene asignado el estado de la entidad “levanta”. Se añade cada Transfernote del modelo que representa un asiento, con ello se simula el tiempo de reacción de incorporación de cada tipo de pasajero.

**Figura 5.13:** Proceso levantar**Proceso saltar:**

De la misma forma que el proceso anteriormente descrito, este proceso está compuesto por un Delay, pero en este caso tiene asignado el estado de la entidad “salta”. Dicho proceso se añade en los 8 nodos que representan las puertas de salida del avión.

**Figura 5.14:** Proceso saltar

5.6. Otros objetos

En los puntos anteriores se ha explicado la utilización de algunos de los objetos más importantes así como su creación. Además de los anteriores, en el modelo se utilizan otros que sirven para visualizar los resultados de la ejecución del modelo, se trata de 4 contadores como muestra la Figura 5.15.

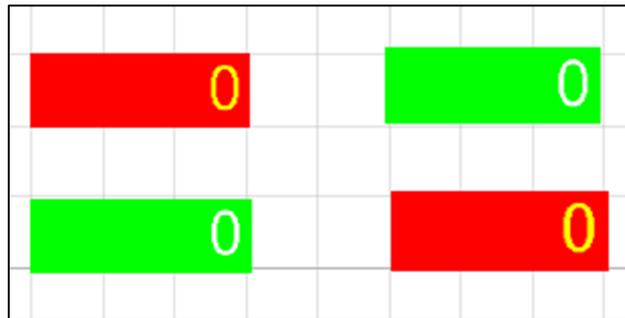


Figura 5.15: Contadores Simio

- El contador superior de color rojo indica durante la simulación el número de pasajeros que permanecen dentro del avión durante la evacuación.
- El contador superior de color verde, indica el tiempo en segundos de la evacuación.
- El contador inferior de color verde, indica el número de pasajeros que ya están fuera del avión y permanecen en zona segura, es decir, a más de 100 metros del avión.
- El contador inferior de color rojo, indica en segundos el tiempo posterior a 90s, que es el tiempo establecido por la normativa para una evacuación.

Las siguientes figuras muestran un instante de la ejecución de la simulación en animación 3D desde diferentes perspectivas.

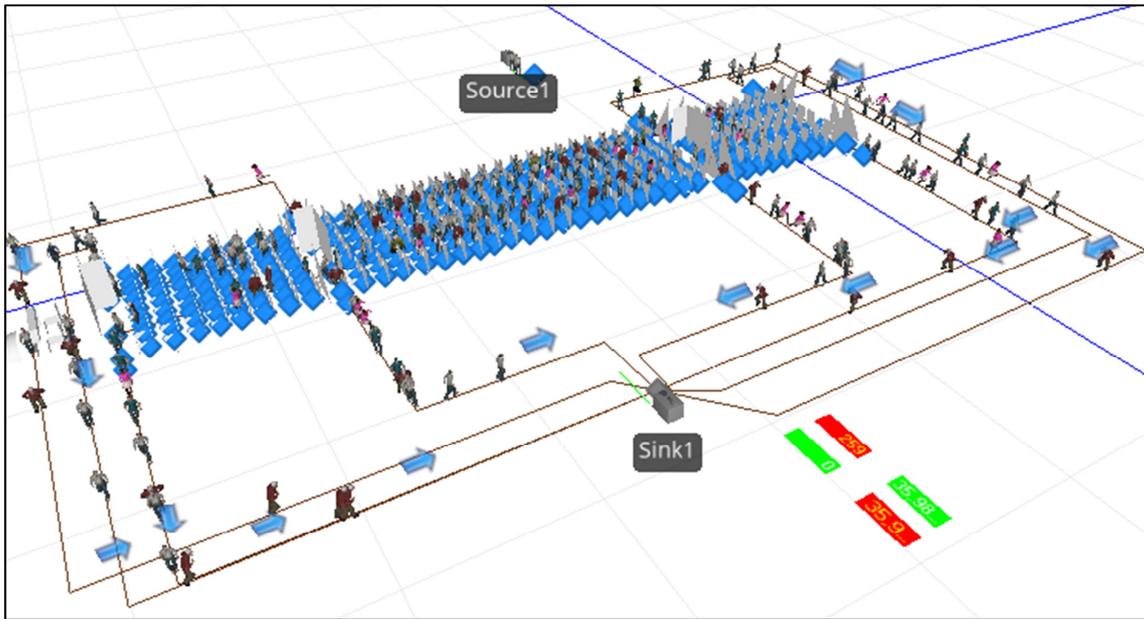


Figura 5.16: Imagen instante simulación



Figura 5.17: Imagen instante simulación interior avión



Figura 5.18: Imagen instante simulación pasajeros saliendo por salida emergencia



Figura 5.19: Imagen instante simulación pasajeros corriendo a zona seguridad

CAPÍTULO 6. EXPERIMENTOS EN SIMIO

6.1. Introducción

En este capítulo se explican los diferentes experimentos llevados a cabo en Simio con diferentes capacidades tanto de pasajeros con movilidad reducida como diferente número de puertas bloqueadas con el objetivo de tomar los diferentes tiempos de evacuación en los diferentes casos y analizar los resultados obtenidos.

En el apartado 5.4. Entidades (pasajeros), se explica la configuración que la normativa propone para la realización del ensayo de evacuación, esta configuración es la que se tiene en cuenta para la realización de las pruebas, pero con la peculiaridad de que se incorporan los pasajeros de movilidad reducida (PMR), también como se explica en el apartado 5.4., ya que es objeto de este estudio.

Se trabaja con intervalos de configuración de pasajeros PMR entre un 0% y un 12%, así como con un intervalo del 100% de las puertas de emergencia operativas y un 50%, que corresponden a 8 puertas y 4 puertas respectivamente, ya que el modelo de avión propuesto está constituido por 8 puertas.

Inicialmente, para obtener los primeros resultados de referencia, se procede a realizar una batería de test con el objetivo de determinar un tiempo medio para cada configuración de pasajeros PMR/puertas operativas. Para ello, se realizan 5 test individuales y se obtiene el tiempo medio.

La Tabla 6.1. muestra el promedio de los tiempos en segundos de evacuación obtenidos (T medio) en función del número de salidas de emergencia operativas (Puertas OP) y el porcentaje de pasajeros de movilidad reducida que se utiliza en cada caso (% PMR), cada una de las pruebas está numerada con la nomenclatura correspondiente (Test).

RESULTADOS FINALES			
TEST	PUERTAS OP	PMR %	T medio
1.1	8	0	70,734
1.2	6	0	82,048
1.3	4	0	117,334
1.4	8	2	70,48
1.5	8	6	71,612
1.6	8	12	72,202
1.7	6	2	81,876
1.8	6	6	82,802
1.9	6	12	83,726
1.10	4	2	117,522
1.11	4	6	117,674
1.12	4	12	120,138

Tabla 6.1.: Resultados tiempo medio

En la Tabla 6.2. se indican los tiempos obtenidos de los cinco test parciales que son utilizados para realizar el promedio del tiempo medio estimado (T medio en la Tabla 6.1).

RESULTADOS PARCIALES						
TEST	T1	T2	T3	T4	T5	T medio
1.1	70,81	71,83	71,18	69,87	69,98	70,734
1.2	81,76	81,86	82,94	82,02	81,66	82,048
1.3	118,76	117,06	116,34	117,27	117,24	117,334
1.4	70,84	69,91	70,88	71,12	69,65	70,48
1.5	71,52	73,23	70,45	71,11	71,75	71,612
1.6	72,34	74,16	71,82	71,71	70,98	72,202
1.7	81,59	82,9	81,56	81,98	81,35	81,876
1.8	81,97	82,99	82,75	83,05	83,25	82,802
1.9	83,01	83,74	83,6	84,67	83,61	83,726
1.10	117,82	116,32	118,76	116,99	117,72	117,522
1.11	117,55	118,38	118,24	118,01	116,19	117,674
1.12	120,66	120,37	119,56	120,1	120	120,138

Tabla 6.2.: Resultados tiempo de cada test parcial

6.2. Análisis de los tiempos

Una vez obtenidos los tiempos que se muestran en el punto precedente, interesa estudiar el comportamiento del tiempo en caso de un incremento en el número de PMR o un decremento en el número de salidas de emergencia operativas.

6.2.1. Comportamiento de t en función % PMR

Incremento t en función del % PMR			
Puertas op / %PMR	0% PMR	12% PMR	% INCREMENTO t
8	70,734	72,202	2,03
6	82,048	83,726	2,00
4	117,334	120,138	2,33

Tabla 6.3.: Resultados incremento del tiempo

En los resultados de la Tabla 6.3. se observa que en un principio se puede deducir que un incremento del 12% en el número de pasajeros con movilidad reducida sobre un total de 259 pasajeros incrementa un 2% el tiempo de evacuación.

Este mismo incremento en el porcentaje de PMR en el caso de disponer de un 100%, 75% o 50% de las puertas de emergencia operativas, apenas incrementa el porcentaje de del tiempo total de evacuación.

6.2.2. Comportamiento de t en función % de puertas operativas

Esta serie de pruebas consiste en estudiar el comportamiento del tiempo de evacuación en función de cómo le afecta el número de puertas de emergencia disponibles.

En las siguientes tablas se muestran los resultados observados especificando el número de puertas operativas en cada caso.

Incremento t en función del nº puertas operativas			
%PMR / Puertas op	8	6	% INCREMENTO t
0%	70,734	82,048	16,00
2%	70,48	81,876	16,17
6%	71,612	82,802	15,63
12%	72,202	83,726	15,96

Tabla 6.4.: Resultados con 8 y 6 puertas operativas

Incremento t en función del nº puertas operativas			
%PMR / Puertas op	8	4	% INCREMENTO t
0%	70,734	117,334	65,88
2%	70,48	117,522	66,75
6%	71,612	117,674	64,32
12%	72,202	120,138	66,39

Tabla 6.5.: Resultados con 8 y 4 puertas operativas

Incremento t en función del nº puertas operativas			
%PMR / Puertas op	6	4	% INCREMENTO t
0%	82,048	117,334	43,01
2%	81,876	117,522	43,54
6%	82,802	117,674	42,11
12%	83,726	120,138	43,49

Tabla 6.6.: Resultados con 6 y 4 puertas operativas

Como era de esperar, en los resultados obtenidos se demuestra que en el caso de una evacuación, el número de salidas operativas es significativo para el tiempo total de evacuación.

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

A título personal, realizar este proyecto ha resultado muy interesante ya que no conocía en profundidad el mundo de la simulación orientada a objeto, y me ha dado la oportunidad de ampliar conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, especialmente de la asignatura de modelización y simulación.

En términos del modelo desarrollado, se cumplen los siguientes objetivos:

- Desarrollar en el software de simulación de evento discreto orientado a objeto Simio un modelo que represente el procedimiento de emergencia y evacuación en aviones de fuselaje ancho (doble pasillo) y, evaluar los resultados obtenidos de diferentes experimentos con la finalidad que puedan servir como ayuda en la toma de decisiones futuras.
- Demostrar que es posible modelar en Simio un sistema complejo de evacuación de aeronaves, donde en función del tipo de emergencia y diferentes capacidades de tipos de pasajeros, se cumple o no con la normativa aeronáutica.
- Proponer un modelo de configuración de pasajeros para el simulacro real de evacuación, donde se tiene en cuenta a los pasajeros de movilidad reducida.
- Realizar experimentos con diferentes capacidades de pasajeros con movilidad reducida para contemplar la posibilidad de ofertar asientos vacíos en un vuelo a pasajeros de este tipo, con la seguridad de que en caso necesario se cumpliría con la normativa.
- Acercar al lector diferentes conceptos tanto técnicos como generales sobre el sector aeronáutico y la simulación.

No obstante, a pesar de que no se planteó como objetivo, si surgió como idea de este proyecto determinar la mejor posición en caso de proceder a una emergencia para los pasajeros de movilidad reducida, aunque por falta de tiempo y observando los resultados de incremento de tiempo por un incremento de este tipo de pasajeros no se ha llevado a cabo, ya que casi se puede obviar.

Este proyecto ha sufrido algunos desvíos y retrasos sobre la planificación inicial programada por diferentes causas e inconvenientes que han ido surgiendo desde un principio.

Inicialmente, se realizó una planificación que ha resultado ser muy optimista, a la hora de realizarla no se consideró adecuadamente el grado de complejidad y dedicación que requiere hacer este modelo.

Por otro lado, también surgieron problemas que retrasaron la planificación debido a la licencia que tiene adquirida la universidad, ya que está limitada a un determinado número de objetos y el modelo desarrollado supera esta limitación, aunque finalmente se pudo resolver el problema. También ha habido algunos problemas puntuales a la hora de trabajar fuera de las instalaciones de la Escuela de Ingeniería, ya que para utilizar el

software de Simio, se requiere estar conectado al servidor de la universidad, y no siempre ha sido posible.

A lo largo del desarrollo del modelo, una vez iba adquiriendo forma nos percatábamos de errores que de forma teórica y sin un modelo ya avanzado eran difícil de detectar, especialmente en el tema de asignación de velocidades dónde observando los tiempos de pruebas iniciales se tuvieron que cambiar y realizar diferentes experimentos.

Cabe destacar, que un desvío importante sobre la planificación ha surgido por el entusiasmo y las predisposición a realizar cada vez un modelo mejorado, esto conlleva en cada nueva idea cambiar parámetros de configuración sobre algún modelo precedente para posteriormente verificar si la idea surgida tiene algún efecto positivo o no sobre el modelo, y como es obvio, en varias ocasiones no ha sido positivo. En función de los cambios a realizar de un modelo a otro, requiere una dedicación de varias horas y, a lo largo de este proyecto, se han llegado a realizar más de 50 modelos diferentes.

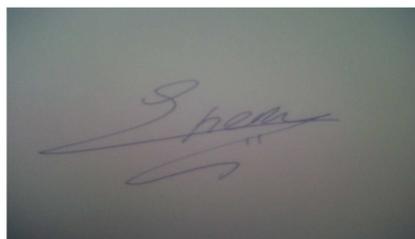
Finalmente, el modelo de simulación obtenido, aunque no se dispone de datos reales fiables para poder verificarlo se considera un buen modelo ya que los tiempos obtenidos a lo largo de las diferentes pruebas se acercan a los tiempos que se pueden tomar como lógicos y observar en diferentes vídeos disponibles en la red.

Como futuro trabajo, se espera poder conseguir datos empíricos reales observados del ensayo de evacuación en aeronaves de transporte de pasajeros o, en caso de no ser posible, asignar los diferentes tiempos y velocidades de desplazamiento de forma más ajustada, así como proponer en la ejecución de la simulación un ingreso de datos sobre la capacidad de pasajeros en función del sexo y edad de pasajeros de diferentes vuelos, supondría la posibilidad de poder obtener resultados más cercanos a la realidad.

REFERENCIAS

- [1] Wikipedia, “es.wikipedia.org/wiki/Simulación”
- [2] C.D. Pedgen, “Intelligent objects: the future of simulation”, Simio LLC, Sewickley, PA, USA.
- [3] C. D. Pedgen, D. T. Sturrock, “Introduction to Simio”, in Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference, Simio LLC, Sewickley, PA, USA.
- [4] Marcos Fernando Goldemberg, “Desarrollo de un modelo de sistema de salud mediante un lenguaje de simulación orientado a objeto inteligente”, Concepción, Mayo 2011.
- [5] J.M. Hedo. Modelización computacional del ensayo de evacuación de emergencia de aviones de transporte. Madrid, España, Enero 2009-pp 12-14
- [6] ABC, www.definicionabc.com.
- [7] Cabin Safety Compendium. “Manual de seguridad de vuelo de compañías aéreas”.
- [8] Wikipedia, es.wikipedia.org/wiki/Aterrizaje_de_emergencia
- [9] Anónimo, telezafata.net/2009/09/procedimientos-de-emergencia.
- [10] Anónimo. <http://www.1001experiencias.com/experiencias-miticas/los-hermanos-wright-los-pioneros-de-la-aviacion-mundial/>
- [11] Anónimo. www.eltribuno.info/.../245200-Cuantos-aviones-vuelan-en-el-mundo.not...
- [12] Anónimo. ingenierosindustriales.jimdo.com/...para...transporte/transporte-aéreo/
- [13] Wikipedia. es.wikipedia.org/wiki/Transporte_aéreo
- [14] IVAO. Estructuras principales del avión
- [15] Anónimo. centrodeartigos.com/articulos-informativos/article_65145.html
- [16] Anónimo. es.answers.yahoo.com > ... > Autos y Transporte
- [17] RAC-OPS. Subparte N-Tripulación de vuelo-, OPS 1.940.
- [18] Enciclopedia Jurídica. www.encyclopedia-juridica.biz14.com/.../personal.../personal-aeronautico
- [19] Anónimo. es.wikipedia.org/wiki/Piloto_al_mando
- [20] AirEuropa.Manual pasajeros
- [21] Anónimo. “www.correodelmaestro.com/anteriores/2006/febrero”
- [22] J.M. Hedo. Modelización computacional del ensayo de evacuación de emergencia de aviones de transporte. Madrid, España, Enero 2009-pp 93
- [23] Medciclopedia. Diccionario de términos médicos. “www.iqb.es/diccio/s/se.htm”
- [24] RAE. Diccionario de la Real Academia Española.
- [25] J.M. Hedo. Modelización computacional del ensayo de evacuación de emergencia de aviones de transporte. Madrid, España, Enero 2009-pp 94
- [26] RAE. Diccionario de la Real Academia Española.

José Manuel Martín Mangas



Sabadell, 28 de febrero 2014