



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Metodología para el análisis de simulaciones de tráfico  
aéreo mediante ESCAPE

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Aeroespacial

AUTOR/A: Vitas Ortega, Tony

Tutor/a: Yuste Pérez, Pedro

Cotutor/a: Vila Carbó, Juan Antonio

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSIDAD PÒLITÈCNICA DE VALENCIA

---

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO

GRADO EN INGENIERÍA AEROESPACIAL

TRABAJO FIN DE GRADO

**Metodología para el análisis de simulaciones  
de tráfico aéreo mediante ESCAPE**

*Autor: Tony Vitas Ortega*

*Tutor: Dr. Pedro Yuste Pérez*

*Cotutor: Dr. Juan Antonio Vila Carbó*

## Resumen

En el presente documento se tiene como objetivo la elaboración de una metodología de análisis de simulaciones de tráfico aéreo mediante la herramienta ESCAPE. ESCAPE es una plataforma escalable de simulación en tiempo real de EUROCONTROL ATM que admite simulaciones a pequeña y gran escala en las siguientes áreas: diseño del espacio aéreo, tanto en ruta como TMA, evaluación de nuevos conceptos operativos y herramientas de control, validación pre operacional (ensayo en vivo), capacitación de controladores e investigación y desarrollo.

En este proyecto se elaborará un manual con un método de creación de ejercicios de simulación, donde estarán recogidas en orden todas las instrucciones para la correcta generación de un ejercicio de simulación, además de las diferentes opciones que posee ESCAPE sobre herramientas de análisis o de simulaciones interactivas.

Por otro lado, se ha propuesto y realizado un análisis específico sobre una parte del espacio aéreo español. El lugar a simular elegido ha sido el TMA de Palma, una de las zonas más interesantes y a la vez complejas del tráfico aéreo del país. Todos los ejercicios para el análisis han sido creados a través de la metodología del manual. El análisis se enfocará en el estudio del tráfico de llegadas al aeropuerto de LEPA (Aeropuerto de Palma de Mallorca).

Se ha generado un primer caso de simulación con fecha y hora de inicio 07/03/2022 12:00 AM UTC+1 y se han obtenido resultados sobre los conflictos, carga de sectores y fluidez del ejercicio. Posteriormente, se ha aislado el tráfico de llegadas a Palma (SOLO ARR) en un segundo caso y se ha realizado el mismo procedimiento de extracción de resultados. Tras la obtención de datos, se ha propuesto la creación de un nuevo procedimiento dinámico de llegadas a LEPA en forma de doble trombón y se ha desarrollado un algoritmo para la separación del tráfico a través de dicho procedimiento. De esta manera, se han estudiado al mismo tiempo las variables especificadas y la posible automatización de tráfico aéreo.

Finalmente, se ha creado un último ejercicio en que el que se ha combinado el nuevo procedimiento junto con el resto del tráfico aéreo del TMA, el cual arroja resultados relevantes acerca de la mejora de la fluidez de las aerovías y la eliminación de conflictos entre aeronaves, directamente relacionados con la posible futura automatización del control del espacio aéreo.

## Abstract

The objective of this paper is to develop a methodology for the analysis of air traffic simulations using ESCAPE. ESCAPE is a scalable EUROCONTROL ATM real-time simulation platform supporting small- and large-scale simulations in the following areas: airspace design, both en-route and TMA, evaluation of new operational concepts and controller tools, pre-operational validation (live trial), controller training and research and development.

In this project, a manual with a method for the creation of simulation exercises will be elaborated. All the instructions for the correct generation of a simulation exercise will be collected in order, as well as the different options that ESCAPE has on analysis tools or interactive simulations.

On the other hand, a specific analysis of a part of the Spanish airspace has been created and carried out. TMA of Palma has been the chosen place, one of the most interesting and at the same time complex air traffic areas of the country. All the exercises for the analysis have been created through the manual methodology. The analysis will focus on the study of arrivals traffic at LEPA airport (Palma de Mallorca Airport).

A first simulation case has been generated with starting date and time 07/03/2022 12:00 AM UTC+1 and results on conflicts, sector load and fluidity of the exercise have been obtained. Subsequently, the arriving traffic to Palma (ARR ONLY) has been isolated in a second case, where the same procedure of extraction of results has been performed. Then, a new dynamic procedure for LEPA arrivals with a double trombone shape has been proposed and an algorithm for traffic management through this procedure has been developed. In this way, the specified variables and the possible automation of air traffic have been studied at the same time.

Finally, a last exercise has been created. The new procedure has been combined with the rest of the TMA air traffic, which yields relevant results about the improvement of airway fluidity and the elimination of conflicts between aircrafts, directly related to the possible future TMA automation.

## Agradecimientos

Antes de comenzar con el desarrollo del trabajo, me gustaría agradecer y dedicar unas palabras a aquellas personas que han formado parte de mi camino como estudiante durante mi etapa universitaria y han ayudado a que este proyecto y todo lo que vendrá después de él exista.

En primer lugar, me gustaría agradecer a D. Pedro Yuste por haberme acompañado a lo largo de todo el proyecto y por brindarme ayuda siempre que la he necesitado, estuviese relacionado con el proyecto o fuera de este. Le doy las gracias por proponerme este proyecto, por todo lo que he aprendido durante su realización y por la visión sobre el espacio aéreo que me ha mostrado.

Por otro lado, debo de agradecer a toda mi familia. Podría generalizar, pero me es imposible hacerlo, porque cada uno de vosotros sois únicos. A mis padres, por enseñarme lo que realmente es importante en la vida y ayudarme en todo lo que he necesitado. Gracias por formarme como persona, soy todo lo que soy gracias a vosotros. A mi hermano, que ha estado a mi lado siempre, que ha sido el amigo en quien más confiar. Gracias por ser cómo eres y por ser mi hermano mayor, con todo lo que eso significa. A mi abuela, por tu cariño incondicional, por tus consejos y por recuerdos que no olvidaré jamás. Gracias por crear una familia tan bonita y única como la nuestra. Para mí, la palabra “abuelos” no tiene sentido si no está tu nombre al lado. A mis tíos, por ser mis segundos padres y por preocuparos por mí cómo lo harían ellos. Gracias por cuidarme y estar siempre. Y a mis primos, por dejarme momentos inolvidables de mi vida y confiar en mí para aprender. Gracias por dejarme ser el hermano mayor con vosotros y aprender los tres juntos.

No se me ocurre cómo sería todo sin vosotros.

Del mismo modo, me gustaría agradecer al último pilar de esta etapa, mis amigos. Sois la parte de la universidad que no vino conmigo, pero se viene conmigo. Gracias a vosotros he aprendido lo que son los amigos de verdad y que estar en cualquier lado del mundo significa estar en casa si vosotros también estáis. Por incontables noches, conversaciones, risas, ideas, proyectos y aspiraciones. Humber, Matute, Enrique, Manolo, Pepe y Beltros, gracias por todo.

Por último, quiero dar las gracias a lo bueno que me está dando la vida. Porque a veces las cosas no salen como uno quiere, pero si te mantienes estable, es cuestión de tiempo que algo bueno acabe por pasar. Cosas que nunca uno nunca se había imaginado.

# Índice

<b>Agradecimientos</b> .....	<b>4</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>7</b>
<b>I METODOLOGÍA</b> .....	<b>11</b>
<b>1.- Introducción</b> .....	<b>12</b>
1.1.- Contexto.....	12
1.2.- Objetivos.....	13
<b>2.- Primeros pasos: creación del entorno de trabajo</b> .....	<b>14</b>
2.1.- Instalación.....	14
2.2.- Inicialización de la simulación.....	25
2.3.- Datos de los dominios AIRSCAPE y ARCHITECTURE: Entorno de simulación ....	29
2.4.- TRÁFICO: Trayectorias y planes de vuelo.....	64
2.5.- Restricciones ATC.....	71
2.6.- Condiciones meteorológicas.....	75
2.7.- Validación final.....	77
<b>3.- ART ANALYSIS</b> .....	<b>81</b>
3.1.- Introducción a la herramienta.....	81
3.2.- Análisis de conflictos.....	82
3.3.- Estadística del ejercicio.....	83
3.4.- Análisis de la fluidez.....	84
3.5.- Tráfico.....	85
<b>4.- ESCAPE</b> .....	<b>87</b>
4.1.- Introducción.....	87
4.2.- Preparar un ejercicio para simular en ESCAPE.....	87
<b>II CASOS DE ESTUDIO</b> .....	<b>90</b>
<b>1.- Introducción</b> .....	<b>91</b>
1.1.- Objetivos.....	91
<b>2.- Caso 1: Creación del entorno y validación</b> .....	<b>92</b>
2.1.- Inicialización de la simulación.....	92
2.2.- Datos de los dominios AIRSPACE y ARCHITECTURE: Entorno de simulación ....	93
2.3.- TRÁFICO: Trayectorias y planes de vuelo.....	116
2.4.- Restricciones ATC y condiciones meteorológicas.....	119
2.5.- Validación final.....	120
2.6.- Resultados.....	128
<b>3.- Caso 2</b> .....	<b>133</b>
3.1.- Resultados.....	133
<b>4.- Caso 3</b> .....	<b>136</b>

3.2.1.- Nuevo procedimiento.....	138
3.2.2.- Algoritmo de separación.....	141
3.2.3.- Implementación del algoritmo .....	142
3.2.4.- Resultados .....	146
<b>5.- Caso 4.....</b>	<b>150</b>
3.3.1.- Resultados .....	150
<b>6.- Conclusiones y trabajo futuro.....</b>	<b>154</b>
<b>III PLIEGO DE CONDICIONES .....</b>	<b>155</b>
<b>1.- Pliego de condiciones. Introducción .....</b>	<b>156</b>
<b>2.- Condiciones Generales.....</b>	<b>156</b>
2.1.- Supervisión .....	156
2.2.- Conocimientos específicos.....	156
2.3.- Correcto uso de pantallas virtuales .....	156
<b>3.- Condiciones técnicas de material y equipamiento .....</b>	<b>157</b>
3.1.- Software .....	157
3.2.- Hardware.....	157
3.3.- Conexión a Internet.....	157
3.4.- Material Adicional .....	158
<b>IV PRESUPUESTO .....</b>	<b>159</b>
<b>1.- Desglose de Presupuesto .....</b>	<b>160</b>
1.1.- Coste de equipamiento y software .....	160
1.2.- Coste de oficina y derivados .....	161
1.3.- Coste de personal .....	161
<b>2.- Presupuesto Total del Proyecto .....</b>	<b>162</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>163</b>

## Índice de figuras

Figura 1: Infraestructura de ESCAPE .....	14
Figura 2: Arquitectura de ESCAPE .....	15
Figura 3: Error de red .....	17
Figura 4: Cambiar configuración de red .....	17
Figura 5: Configuración doble pantalla emppil01 .....	18
Figura 6: Inicialización de máquinas .....	18
Figura 7: Pantalla de log-in de IPAS .....	19
Figura 8: Log-in de IPAS .....	19
Figura 9: Terminal de IPAS .....	19
Figura 10: Interface de IPAS .....	20
Figura 11: Error "Read only" IPAS .....	20
Figura 12: Archivo fuente del error .....	21
Figura 13: Archivo fuente del error modificado .....	21
Figura 14: Guardar Backup .....	21
Figura 15: Guardado de Backup .....	21
Figura 16: Arranque de máquinas VirtualBox .....	22
Figura 17: Pantalla de Log-in de ESCAPE .....	22
Figura 18: Log-in de ESCAPE .....	22
Figura 19: Run selection tool .....	23
Figura 20: Error de licencias 1 .....	24
Figura 21: Error de licencias 2 .....	24
Figura 22: Error de licencia modificado .....	25
Figura 23: Error de selección IPAS .....	25
Figura 24: Ejemplo de espacio aéreo de IPAS .....	29
Figura 25: Ejercicios de IPAS .....	30
Figura 26: Herramienta Airspace IPAS .....	31
Figura 27: Puntos de definición del volumen de simulación .....	31
Figura 28: Coordenadas de puntos .....	32
Figura 29: Volumen de simulación .....	32
Figura 30: Commit database .....	33
Figura 31: Punto central .....	34
Figura 32: Punto central 2 .....	35
Figura 33: Herramienta CHECK de IPAS .....	36
Figura 34: Ejemplo sin errores de CHECK .....	36
Figura 35: Método lógico de ESCAPE .....	37
Figura 36: Ejemplo de puntos.xls .....	39
Figura 37: Herramienta ART-VISU de IPAS .....	40
Figura 38: Historial de ART-VISU .....	40
Figura 39: Ejemplo de espacio aéreo en ART-VISU .....	41
Figura 40: Aeropuertos en IPAS .....	43
Figura 41: Procedimiento SID en IPAS .....	45
Figura 42: Procedimiento STAR en IPAS .....	46
Figura 43: Circuitos de espera en IPAS .....	47
Figura 44: Volúmenes en IPAS .....	49
Figura 45: Ejemplo TMA de Palma, España .....	49
Figura 46: Volúmenes TMA de Palma .....	50
Figura 47: Ejemplo TMA de Palma con sectores de alimentación .....	50
Figura 48: Ejemplo TMA de Palma con sector UIR .....	51
Figura 49: Ejemplo 2 sectorización del TMA de Palma .....	52



Figura 50: Centros ATC en IPAS .....	53
Figura 51: Autopilotos en IPAS .....	54
Figura 52: Tabla de tipos de controlador en ESCAPE .....	55
Figura 53: Controladores en IPAS .....	55
Figura 54: Área de cobertura IPAS .....	57
Figura 55: Ejemplo centro de software .....	58
Figura 56: Sectores en IPAS .....	60
Figura 57: Aerovías en IPAS .....	61
Figura 58: Áreas STCA en IPAS .....	63
Figura 59: Trayectorias en IPAS .....	65
Figura 60: Atributos mínimos para la creación de aeronaves .....	67
Figura 61: Vuelos en IPAS.....	68
Figura 62: Trayectorias y procedimientos dentro de vuelos .....	69
Figura 63: Directorio BADA de cambio de archivos.....	70
Figura 64: Archivos del directorio BADA modificados .....	70
Figura 65: Restricciones de llegada en IPAS .....	72
Figura 66: Restricciones de salida en IPAS .....	74
Figura 67: Meteo en IPAS.....	75
Figura 68: Check final del ejercicio .....	77
Figura 69: Delivery del ejercicio.....	78
Figura 70: Herramienta PVT en IPAS .....	79
Figura 71: Mensaje sin errores de la herramienta PVT .....	79
Figura 72: Herramienta PVT en IPAS 2 .....	80
Figura 73: Mensaje sin errores de la herramienta PVT 2.....	80
Figura 74: Arranque simulación ART ANALYSIS .....	81
Figura 75: Configuración de parámetros de conflictos .....	82
Figura 76: Lista de conflictos.....	82
Figura 77: Herramienta de conflictos de ART ANALYSIS .....	83
Figura 78: Herramienta de carga de sectores .....	83
Figura 79: Lista de tiempos en sector.....	84
Figura 80: Valor límite de rango de cargas .....	84
Figura 81: Herramienta de fluidez en ART ANALYSIS .....	85
Figura 82: Lista de tráfico .....	85
Figura 83: Query de datos de tráfico .....	86
Figura 84: Asignación de máquinas ESCAPE .....	88
Figura 85: Componentes del aire .....	88
Figura 86: Componentes de autopilotos.....	88
Figura 87: Asignación de controladores.....	89
Figura 88: Arranque de la simulación mediante ESCAPE.....	89
Figura 89: Ejercicio del caso 1 - configuración actual .....	93
Figura 90: Captura de INSIGNIA del TMA de Palma.....	94
Figura 91: Puntos de la ventana de simulación .....	95
Figura 92: Volumen de simulación .....	95
Figura 93: Punto central de la simulación .....	96
Figura 94: Punto central de la simulación 2 .....	96
Figura 95: Macro de Excel - función LATITUDE.....	97
Figura 96: Macro de Excel - función LONGITUDE .....	98
Figura 97: Puntos NAV del TMA del Palma .....	99
Figura 98: Puntos OUTL del TMA de Palma .....	100
Figura 99: Aeropuertos del TMA de Palma .....	101
Figura 100: Aeropuertos del TMA de Palma 2 .....	101

Figura 101: Script MATLAB - CalculoCirculos.m.....	102
Figura 102: Procedimientos SID del TAM de Palma.....	103
Figura 103: Procedimientos STAR del TMA de Palma.....	104
Figura 104: Lista de volúmenes del TMA de Palma.....	105
Figura 105: Volúmenes del TMA de Palma.....	106
Figura 106: Error de hole 1 .....	107
Figura 107: Error de hole 2 .....	107
Figura 108: Error de hole 3 .....	108
Figura 109: Error de hole 4 .....	108
Figura 110: Error de hole 5 .....	108
Figura 111: Error de hole 6 .....	109
Figura 112: Error de hole 7 .....	109
Figura 113: Error de hole 8 .....	109
Figura 114: Error de hole 9 .....	110
Figura 115: Error de hole 10 .....	110
Figura 116: Error de hole 11 .....	110
Figura 117: Error de hole 12 .....	111
Figura 118: Error de hole 13 .....	111
Figura 119: Error de hole 14 .....	111
Figura 120: Sectores del TMA de Palma .....	114
Figura 121: Aerovías del TMA de Palma .....	115
Figura 122: Áreas STCA del TMA de Palma .....	115
Figura 123: Captura flightradar24.....	116
Figura 124: Captura flightradar24 2 .....	116
Figura 125: Trayectorias del tráfico del TMA de Palma.....	117
Figura 126: Tráfico del TMA de Palma .....	118
Figura 127: Restricciones mínimas para simulación para los aeropuertos del TMA de Palma	119
Figura 128: Condiciones meteorológicas del TMA de Palma, día de referencia .....	119
Figura 129: Mensaje sin errores de CHECK final .....	120
Figura 130: Mensaje sin errores de VALIDATE final.....	120
Figura 131: Mensaje sin errores PVT 1 .....	121
Figura 132: Mensaje sin errores PVT 2 .....	121
Figura 133: Aeronave mal generada 1 .....	122
Figura 134: Modificación de aeronave mal generada 1 .....	123
Figura 135: Modificación de procedimiento de aeronave mal generada 1.1 .....	123
Figura 136: Modificación de procedimiento de aeronave mal generada 1.2 .....	124
Figura 137: Aeronave mal generada 1 modificada .....	124
Figura 138: Aeronave mal generada 2 .....	125
Figura 139: Modificación de aeronave mal generada 2 .....	125
Figura 140: Modificación de procedimiento de aeronave mal generada 2.1 .....	126
Figura 141: Modificación de procedimiento de aeronave mal generada 2.2 .....	126
Figura 142: Aeronave mal generada 2 modificada .....	127
Figura 143: Lista de conflictos del caso 1 de configuración actual 1 .....	128
Figura 144: Lista de conflictos del caso 1 de configuración actual 2 .....	128
Figura 145: Conflictos de la configuración actual del caso 1 .....	129
Figura 146: Carga de sectores de la configuración actual del caso 1 .....	129
Figura 147: Carga de sectores detallada de la configuración actual del caso 1.....	130
Figura 148: Carga del sector APP de la configuración actual del caso 1 .....	130
Figura 149: Carga del sector APP detallada de la configuración actual del caso 1 .....	131
Figura 150: Fluidez de la configuración actual del caso 1 .....	131
Figura 151: Lista de tráfico de la configuración actual del caso 1 .....	132

Figura 152: Conflictos de solo llegadas a LEPA del caso 2.....	133
Figura 153: Carga de sectores de solo llegadas a LEPA del caso 2.....	134
Figura 154: Carga de sectores detallada de solo llegadas a LEPA del caso 2.....	135
Figura 155: Fluidez de solo llegadas a LEPA del caso 2.....	135
Figura 156: Ejemplo procedimiento de PointMerge del aeropuerto de Dublín, Irlanda.....	136
Figura 157: Ejemplo procedimiento doble trombón del aeropuerto de Barcelona, España.....	137
Figura 158: Llegada actual a LEPA 24L.....	138
Figura 159: Llegada doble trombón LEBL TRAN_5.....	138
Figura 160: Llegada doble trombón LEBL TRAN_1.....	138
Figura 161: Llegada a LEPA LESJ_6.....	139
Figura 162: Propuesta de procedimiento dinámico.....	140
Figura 163: Coordenadas del procedimiento propuesto.....	140
Figura 164: Propuesta procedimiento dinámico 2.....	141
Figura 165: Algoritmo de separación.....	142
Figura 166: Lista del tráfico sin modificar.....	143
Figura 167: Procedimiento modificado LEPA.....	144
Figura 168: Procedimiento modificado LEPA 2.....	144
Figura 169: Lista de tráfico modificado.....	145
Figura 170: Lista de tráfico modificado 2.....	145
Figura 171: Conflictos de llegadas a LEPA modificadas del caso 3.....	146
Figura 172: Carga de sector de llegadas a LEPA modificadas del caso 3.....	147
Figura 173: Carga de sector de llegadas a LEPA sin modificar del caso 2.....	147
Figura 174: Lista de conflictos de llegadas a LEPA sin modificar del caso 2.....	148
Figura 175: Fluidez de llegadas a LEPA modificadas del caso 3.....	148
Figura 176: Fluidez de llegadas a LEPA sin modificar del caso 2.....	149
Figura 177: Lista de tráfico de TMA completo con llegadas a LEPA del caso 4.....	150
Figura 178: Lista de conflictos de TMA completo con llegadas a LEPA del caso 4.....	151
Figura 179: Carda de sector de TMA completo con llegadas a LEPA del caso 4.....	151
Figura 180: Carga de sector de configuración actual del caso 1.....	152
Figura 181: Fluidez de TMA completo con llegadas a LEPA del caso 4.....	152
Figura 182: Fluidez de configuración actual del caso 1.....	153
Figura 183: Tabla de coste de equipo y software.....	161
Figura 184: Tabla de coste de oficina y derivados.....	161
Figura 185: Tabla de coste de personal.....	162
Figura 186: Tabla de presupuesto del proyecto.....	162

## **I METODOLOGÍA**

# 1.- Introducción

## 1.1.- Contexto

El control del tráfico aéreo es un servicio proporcionado por controladores situados en tierra, que guían a las aeronaves en los espacios aéreos controlados y ofrecen información y apoyo a los pilotos en los espacios aéreos no controlados. Su objetivo es proporcionar seguridad, orden y eficiencia al tráfico aéreo.

El software más usado para el control del tráfico aéreo en España es SACTA (Sistema Automatizado de Control de Tránsito Aéreo). El sistema se encarga de la gestión del control de tráfico aéreo y su misión es facilitar la prestación de los servicios ATS (de tránsito aéreo) de los que ENAIRE es responsable.

En el ámbito internacional, SACTA permite la comunicación automática entre centros de control españoles y extranjeros. Para ello, hace uso de estándares internacionales de intercambio de datos, reduce las actuaciones manuales al mínimo, detecta automáticamente posibles conflictos y aporta flexibilidad para la reconfiguración del espacio aéreo operacional. También permite minimizar los efectos de los denominados picos de tráfico.

SACTA es un software usado para el uso diario de la gestión del espacio aéreo, además de proporcionar escenarios para el entrenamiento de controladores, por lo tanto, también tienen función de simulación a parte de su aplicación real.

Otro ejemplo de software de gestión del tráfico aéreo es Skyguide, de Skysoft. Skyguide proporciona gestión del tráfico aéreo en Suiza y partes adyacentes de los países vecinos. Da servicio a vuelos civiles y militares a través del espacio aéreo más transitado de Europa. Pero, al igual que SACTA, su uso como simulador se ciñe únicamente al entrenamiento de futuros controladores.

Por otra parte, también existen simuladores no profesionales dedicados al control de tráfico aéreo, un ejemplo de esto es Aerosoft. Su software ATC Global Simulator se dedica a la simulación de escenarios de tráfico aéreo de manera no profesional o dedicada a espacios aéreos reales.

Sin embargo, la herramienta con la que se va a trabajar en este proyecto crea nuevas posibilidades en el campo de la simulación del tráfico aéreo. ESCAPE es una plataforma escalable de simulación en tiempo real de EUROCONTROL, organización cuyo objetivo fundamental es la armonización e integración de los servicios de navegación aérea en Europa para lograr una mayor seguridad y eficiencia en las operaciones de tránsito aéreo.

Este software admite simulaciones a pequeña y gran escala en las siguientes áreas: diseño del espacio aéreo, tanto en ruta como TMA, evaluación de nuevos conceptos operativos y herramientas de control, validación pre operacional (ensayo en vivo), capacitación de controladores e investigación y desarrollo.

Este tipo de software ofrece más utilidades que simplemente el entrenamiento de controladores, ya que permite crear y generar simulaciones personalizables. Se pueden crear tanto entornos de simulación como el tráfico que se introduce a dicho entorno y ofrecer distintas posibilidades de simulación.

Por un lado, ofrece la posibilidad de crear una simulación interactiva con autopilotos y puestos de controlador, desde los cuales se puede dar indicaciones a las aeronaves introducidas, como si un puesto de controlador real se tratase. Esto también serviría para el entrenamiento de

controladores, pero además serviría para la rápida creación y simulación de espacios aéreos personalizados. Por ejemplo, si se quisiese probar configuraciones nuevas para la sectorización de un aeropuerto o un nuevo procedimiento, podría simularse con el tráfico aproximado de ese caso y probarse por parte de controladores profesionales.

Por otra parte, ofrece una posibilidad de simulación más simplificada, pero con utilidades diferentes. Esta no es interactiva, pero es esto lo que la hace atractiva y más accesible con equipos menos sofisticados que los normalmente necesarios para este tipo de simulaciones.

Mediante este tipo de simulaciones, se generan automáticamente los perfiles verticales de las aeronaves según a una serie de parámetros límite introducidos y gracias a la base de datos BADA, por lo que el comportamiento de las aeronaves es realmente similar al desempeño real de las aeronaves.

Esto genera un escenario en las que los planes de vuelo están automatizados y definidos desde la salida de la aeronave, sin atender a ningún tipo de control por parte de los controladores. De esta manera se crean conflictos, ya que estos no son resueltos por nadie. Sin embargo, se deben de entender estas simulaciones como unas herramientas mediante las cuales buscar cómo resolver dichos conflictos de manera automática

En otras palabras, abre las puertas a los primeros análisis dedicados a la automatización del control del tráfico aéreo, una posibilidad nueva que no ofrecía ningún tipo de software hasta el momento.

## 1.2.- Objetivos

A lo largo de esta metodología se va a desarrollar una serie de pasos ordenados para la creación de un entorno de simulación en el software ESCAPE, incluyendo problemas y errores que pueden aparecer durante la propia creación.

La información que se proporciona en esta metodología es neutra y aplicable a cualquier zona aérea del mundo que se quiera simular, independientemente de su magnitud, número de aeropuertos, vuelos, aerovías, etc. Será la propia capacidad del sistema o equipo de sistemas lo que dictaminará el tamaño de la simulación.

Una vez creado el entorno de simulación, se podrá hacer uso de este de múltiples maneras. Desde una simulación de los diferentes sectores de un espacio aéreo para el entrenamiento de controladores aéreos en una zona específica hasta simulaciones de nuevos procedimientos, pasando incluso por búsquedas en la automatización de la organización del espacio aéreo.

En la siguiente parte del trabajo se procederá a crear un entorno de simulación basado en el TMA de Palma de Mallorca, el día 07/03/2022 a partir de las 12:00 AM UTC+1 mediante el software ESCAPE de EUROCONTROL y proponer una metodología de análisis.

## 2.- Primeros pasos: creación del entorno de trabajo

### 2.1.- Instalación

Primero se describirán los pasos principales para la instalación de Escape Light. Se recomienda tener buenas nociones en instalación y administración de Linux (Red Hat). También conocimientos básicos en administración de bases de datos y en el software VirtualBox. Además, se recuerda que será obligatorio conocer la contraseña de la BIOS (si existe) y la contraseña del sistema en el que se instalará (root o administrador de Windows, dependiendo del caso).

También es importante remarcar que la instalación que se va a seguir es en una instalación a través de máquinas virtuales, haciendo uso del software Oracle VirtualBox. Algunos paquetes de este software son bajo licencia y pueden requerir algún tipo de compra de licencia acorde al uso. Mirar: [https://www.virtualbox.org/wiki/Licensing\\_FAQ](https://www.virtualbox.org/wiki/Licensing_FAQ)

En este caso instalaremos el paquete VirtualBox base package y VirtualBox Guest Additions. Pero puede darse el caso que para otro tipo de simulaciones sea necesario el VirtualBox Extended Pack, que puede requerir algún tipo de pago de licencia. Por lo tanto, tenga en cuenta que qué paquete puede necesitar su simulación antes de comenzar la instalación.

#### 2.1.1 Plataforma

Vista de la infraestructura:

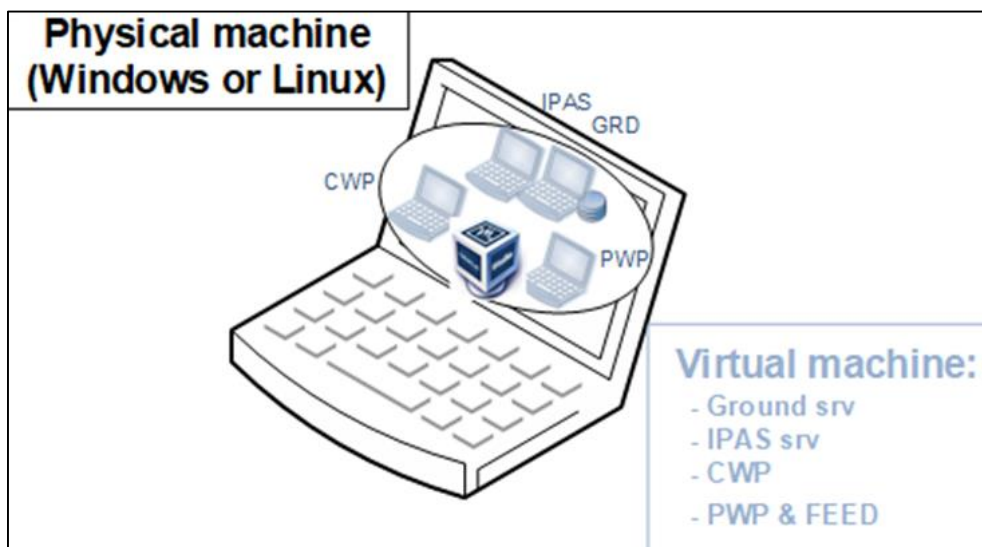


Figura 1: Infraestructura de ESCAPE

En la instalación se crean 4 máquinas virtuales en una máquina física. El hardware físico debe cumplir con una serie de requerimientos, ya que la creación de 4 máquinas virtuales involucra una alta demanda de CPU, por lo que se recomienda un SSD core i7/16Gb RAM/500Gb Almacenamiento. El espacio requerido por la plataforma es de alrededor de 35 Gb, por lo que se recomienda verificar que al menos hay 50Gb de espacio libres.

Por otra parte, el hardware físico debe de ser compatible con la tecnología de virtualización. Los parámetros BIOS deben de estar activados. Por ejemplo, en la máquina HP ZBook, debe de estar activada la Tecnología de virtualización (VTx) y la Tecnología de virtualización para E/S dirigida (VTd).

Algunas políticas de instalación de Windows como la "seguridad basada en virtualización" pueden interrumpir el uso de VirtualBox. En ese caso, se debe verificar que este parámetro esté configurado en "No habilitado". Se puede encontrar a través del "Editor de políticas de grupo local". Otro punto es la "Plataforma de Hipervisor de Windows". Este parámetro debe estar desmarcado (apagado). Puede encontrarlo a través de "Buscar: activar o desactivar las funciones de Windows"

Algunos programas (como Antivirus) también pueden interrumpir el uso de VirtualBox.

Vista de la arquitectura:

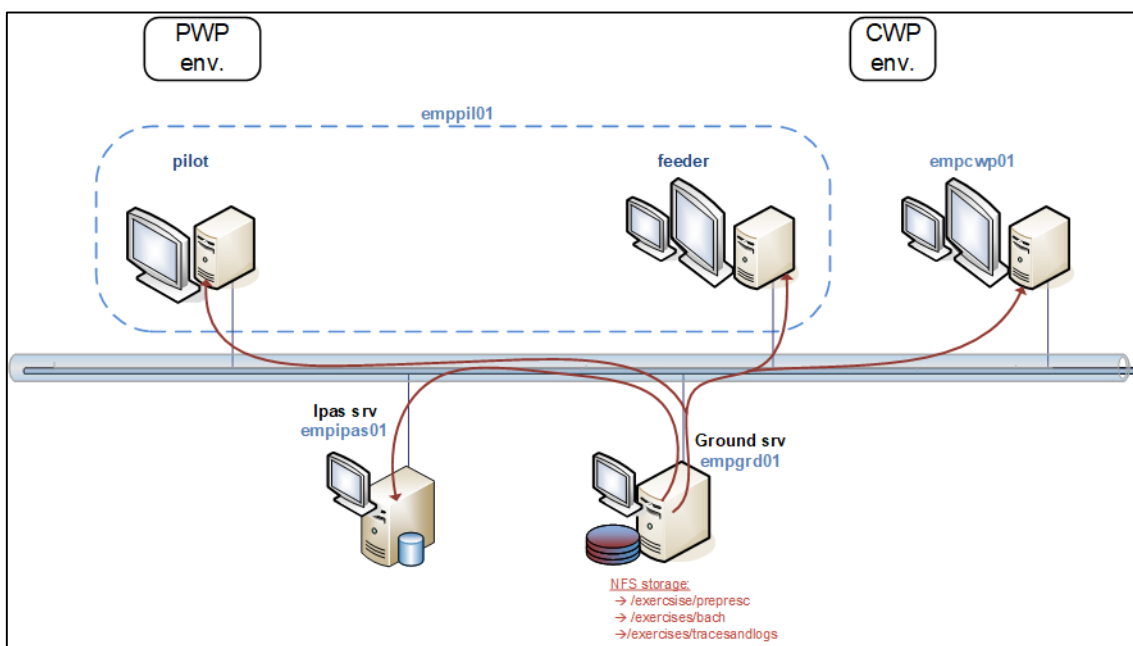


Figura 2:Arquitectura de ESCAPE

El servidor Ground también es un servidor NFS que almacena simulación de datos. Por otro lado, el servidor IPAS utiliza el software Oracle XE y se encarga de la preparación de los datos. Por último, la posición de trabajo del piloto también es una posición de alimentación, una encargada del movimiento automático de las aeronaves y la otra de la generación y desaparición de estas en el espacio aéreo.

### 2.1.2.- Instalación de la plataforma

Para la instalación de la plataforma es necesario:

- el software VirtualBox para Windows 10, CentOS 6 y CentOS 7 (VirtualBox\_software).
- Las imágenes VM de los servidores Ground, Ipas, CWP (control) y PWP (pilotos y feeder).



Para la obtención de las imágenes es necesario ponerse en contacto con EUROCONTROL.

Una vez se posee lo necesario, los pasos son los siguientes:

### **Windows 10**

- Abrir una sesión de Windows como administrador
- Instalar el software VirtualBox → Ejecutar *VirtualBox-x.x.x-xxxxxx-Win.exe* (según la versión)
- Importar las imágenes de la máquina virtual
  1. Seleccionamos “Nueva”.
  2. Introducimos nombre de la imagen y carpeta de localización de esta. Seleccionamos la imagen *empgrd01-ACE19A-CentOS7u7.ova*.
  3. Pulsamos “Next”.
  4. Seleccionamos la cantidad de RAM que usará la imagen. El valor recomendado es de 2048MB.
  5. Pulsamos “Next”.
  6. Seleccionamos la carpeta de la futura máquina virtual.
  7. Pulsamos “Crear”

Este proceso debe de repetirse con las 3 imágenes virtuales restantes:

- *empipas01-ACE19A-CentOS7u7.ova*
- *empcwp01-ACE19A-CentOS7u7.ova*
- *emppilfeed01-ACE19A-CentOS7u7.ova*

#### 2.1.3.- Antes de comenzar en Escape Supervision

Antes de iniciar Escape Supervision (después de haber iniciado las 3 VM (*empgrd01*, *empcwp01*, *emppil01*)), se debe verificar/adaptar las pantallas/resoluciones:

- *empgrd01* (Ground) → pantalla virtual 1: 1920x1080
- *empcwp01* (Control) → pantalla virtual 1: 1920x1080
- *emppil01* (Feed & Pilot) → pantalla virtual 1 : 1680x1050 y pantalla virtual 2 : 1920x1080

Para *emppil01*, es necesario que la resolución de la pantalla virtual 2 sea mayor que la resolución de la pantalla virtual 1.

#### 2.1.4.- Errores comunes

Hay una serie de errores que pueden aparecer ocasionalmente, muchos de ellos debido a algún error en la configuración del montado de imágenes. Por lo que se recomienda prestar mucha atención a todos y cada uno de ellos.

## Mensaje de “error de red” durante el primer arranque

Este tipo de mensaje puede aparecer cuando inicia la VM por primera vez:

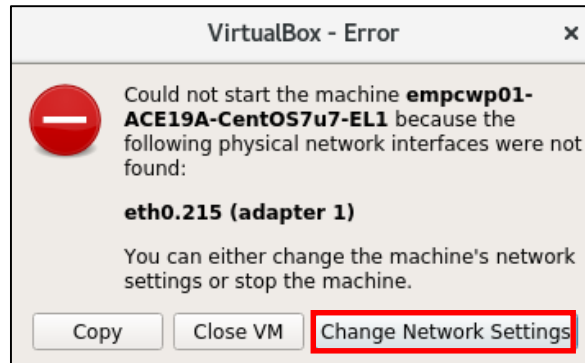


Figura 3: Error de red

Esto se debe al hecho de que el nombre de la interfaz de red disponible en su máquina es diferente al que se incluye en la imagen. Para solucionarlo, únicamente se ha de adaptar:

1. Seleccione el botón "Cambiar configuración de red"
2. Valide la propuesta → presione el botón “OK”

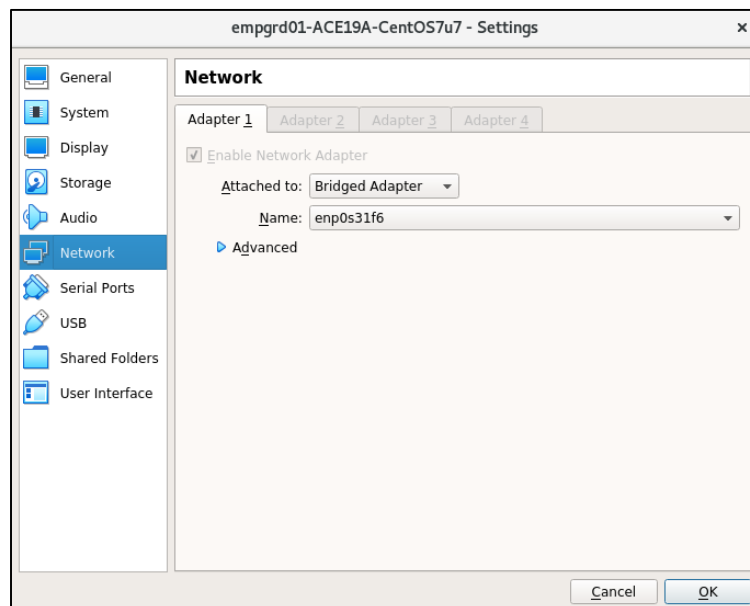


Figura 4: Cambiar configuración de red

Es importante comprobar que está configurado en “Adaptador puente” o “Bridged Adapter”.

### Activar la segunda pantalla de empil01

Dependiendo del ejercicio, puede ocurrir que la máquina virtual empil01 deba tener 2 pantallas (una para el controlador híbrido, es decir, feed, y otra para el Piloto).

Si la máquina virtual no está configurada con 2 pantallas, se necesita:

1. Seleccionar el menú “Ver” una vez arrancada la máquina virtual.
2. Ir a “Pantalla 2” y seleccionar → Habilitar

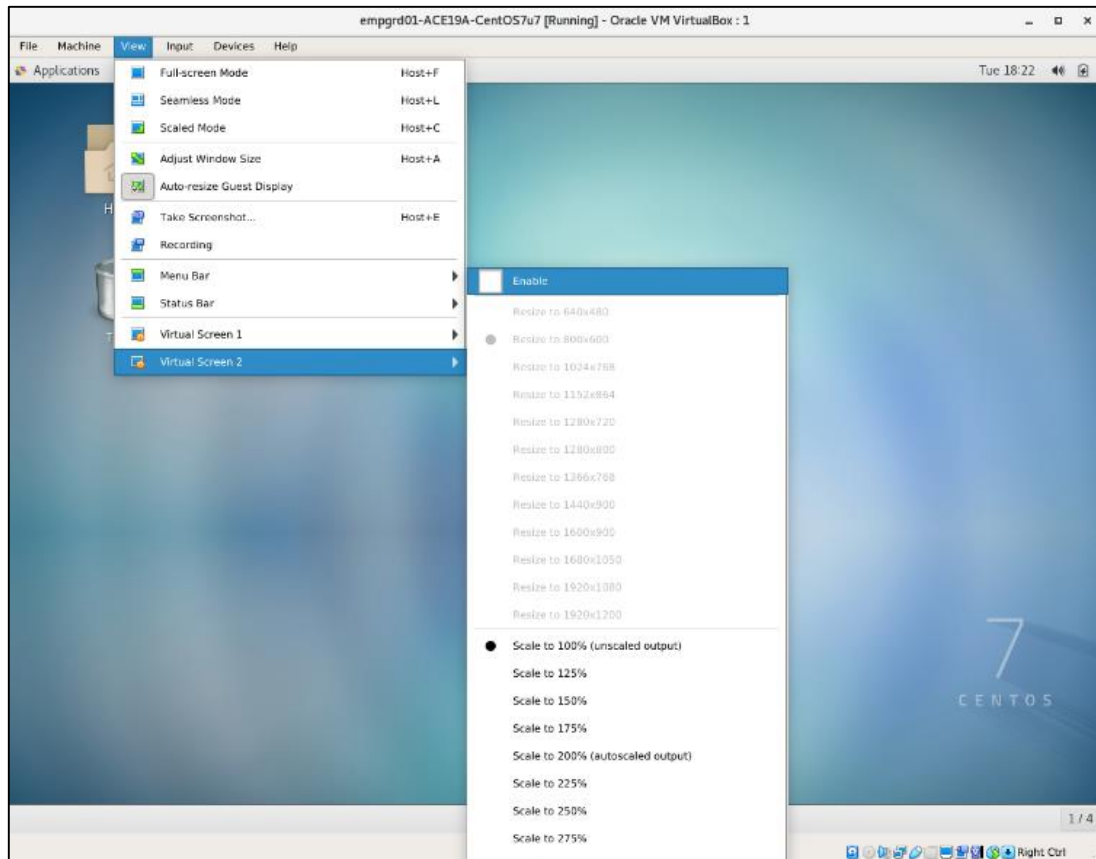


Figura 5: Configuración doble pantalla empil01

### Errores de activación y de licencias

Para inicializar la herramienta IPAS es necesario realizar estas acciones en el siguiente orden:

- Arrancar VirtualBox
- Arrancar empgrd01 (Ground)
- Arrancar empipas01

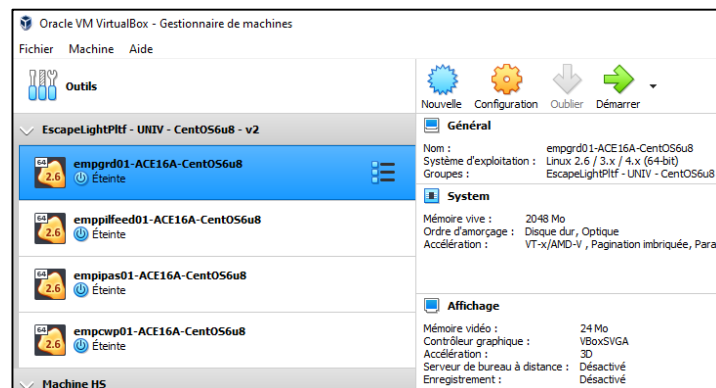


Figura 6: Inicialización de máquinas

Para iniciar IPAS:

1. Iniciamos sesión usando una cuenta IPAS. Usando contraseña: ope

Cuidado con el teclado en uso, ya que puede que algunas teclas no correspondan con el símbolo asignado.

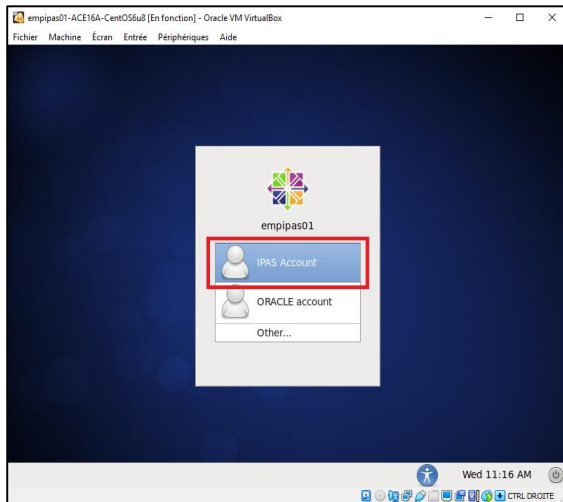


Figura 7: Pantalla de log-in de IPAS

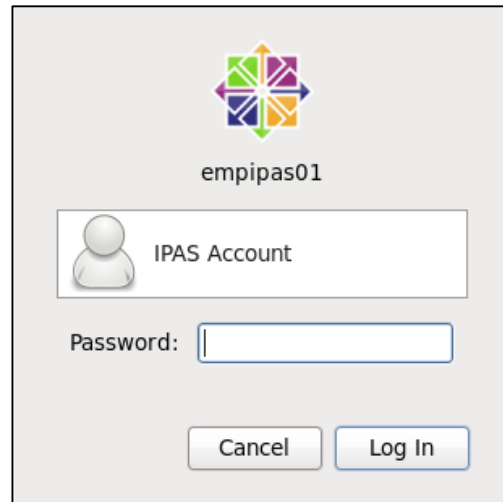


Figura 8: Log-in de IPAS

Una vez iniciada la sesión:

2. Click derecho en el fondo y abrimos "Terminal"
3. Escribimos "ipas" y pulamos Intro.

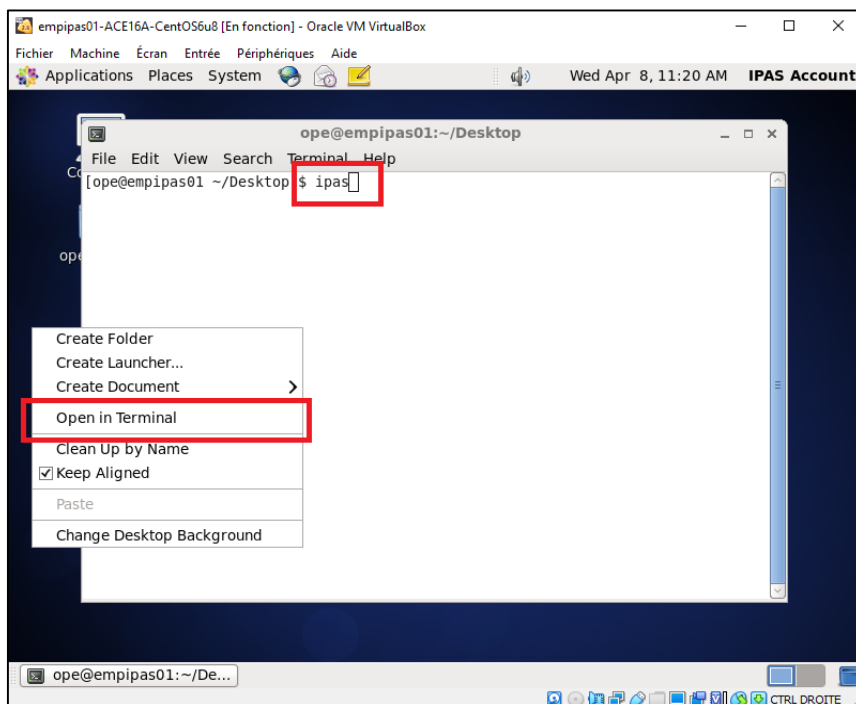


Figura 9: Terminal de IPAS

Como se ve la interface de IPAS:

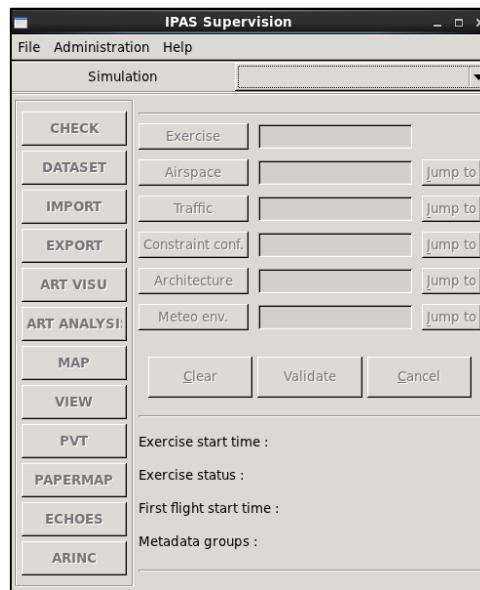


Figura 10: Interface de IPAS

Hay un error común y es que la interface de IPAS aparezca de color azul brillante. Esto es que el modo de uso de la herramienta está en “Read only”.

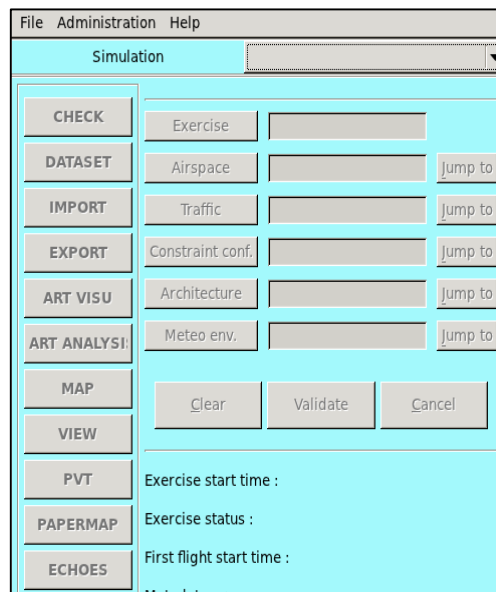


Figura 11: Error "Read only" IPAS

Para solucionar esto:

1. Abrir una terminal (clic derecho en el fondo).
2. Escriba los siguientes comandos:
  - `cd`
  - `cd IPAS/ACE2019A/IPAS/tmp`
  - `gedit ipas_fic_user_nesu`

3. Cambiar la « Y » por una « N » en el archivo que hemos abierto.
4. Guarda el archivo “Save”
5. Reiniciar IPAS. Ahora debería de aparecer con el fondo gris

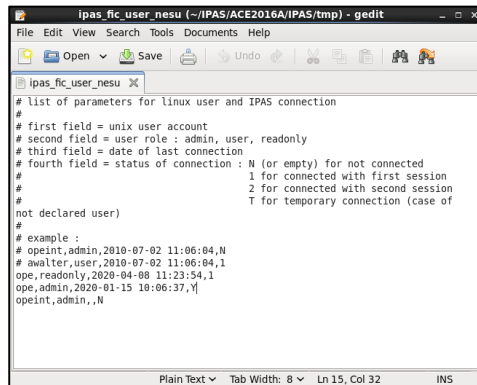


Figura 12: Archivo fuente del error

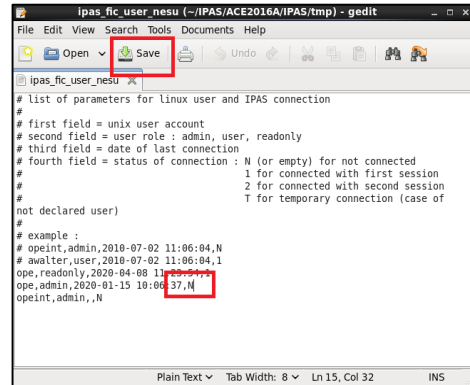


Figura 13: Archivo fuente del error modificado

Hay una acción recomendada antes de comenzar a usar la herramienta de IPAS que consiste en la creación de un dominio de “BackUp”:

1. Crear un directorio en la localización: /home/ope/SAVED\_SIMUL/UNISCAPE
2. Seleccionar el menú "Administración" en IPAS
3. Seleccionar "Mantenimiento"
4. "Guardar simulación (en archivo dmp)"
5. Seleccionar la simulación y agregar una descripción relevante
6. Aceptar

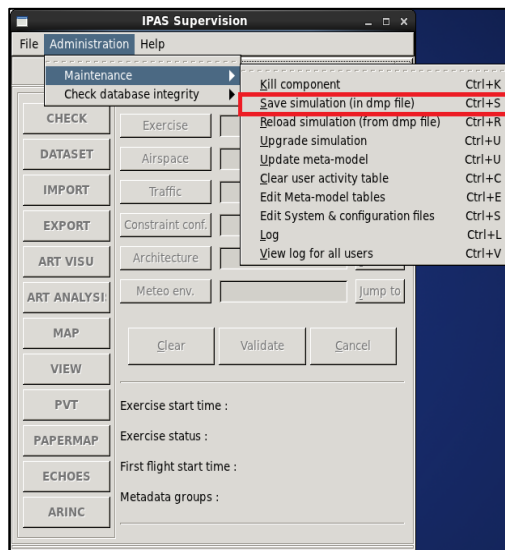


Figura 14: Guardar Backup

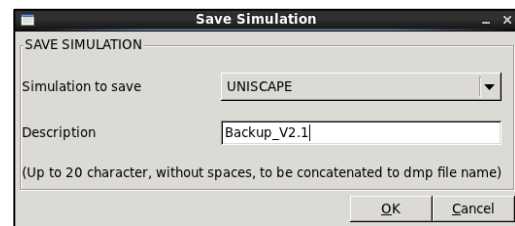


Figura 15: Guardado de Backup

De manera simultánea, para la inicialización de ESCAPE Light es necesario seguir esta serie de pasos:

1. Arrancar VirtualBox
2. Arrancar empgrd01
3. Arrancar emppilfeed01
4. Arrancar empcwp01

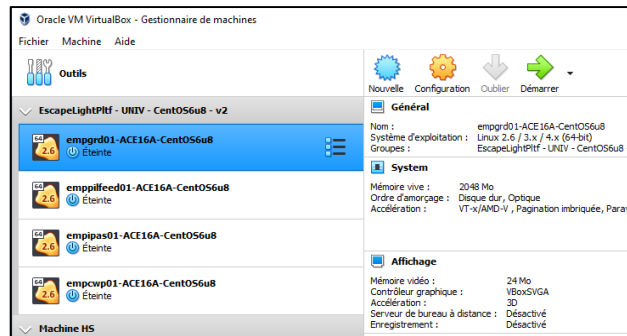


Figura 16: Arranque de máquinas VirtualBox

Para iniciar ESCAPE:

Iniciamos sesión usando una cuenta Escape. Usando contraseña: runesc

Cuidado con el teclado en uso, ya que puede que algunas teclas no correspondan con el símbolo asignado.

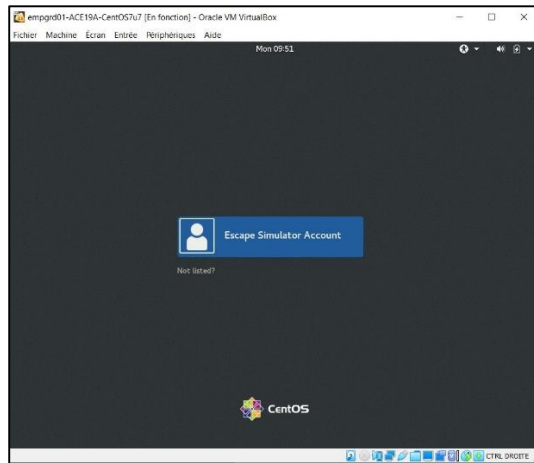


Figura 17: Pantalla de Log-in de ESCAPE



Figura 18: Log-in de ESCAPE

Una vez iniciado sesión podemos lanzar una simulación de ejemplo de EUROCONTROL para comprobar que todo está correctamente instalado:

1. Hacer clic derecho en el fondo para abrir una terminal.
2. Escriba "l" y pulsar Intro.
3. Seleccionar:
  1. UNISCAPE.
  2. UNI1SECTOR.
  3. Run\_UNI1.
4. Haga clic en el botón "Start".

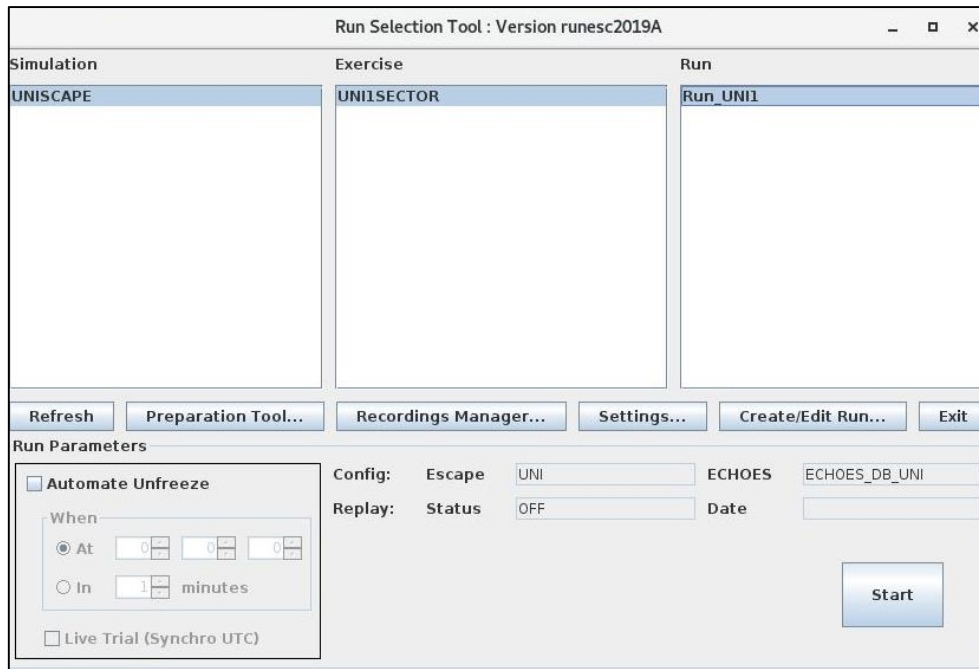


Figura 19: Run selection tool

Las licencias ODS entregadas durante las sesiones de capacitación vencieron el 30 de junio de 2022. El archivo “licencia.dat” ubicado en “/opt/licenses/ods\_toolbox” deberá de ser reemplazado por uno válido.

Esto deberá hacerse en todos los hosts (CWP, PWP, IPAS y GRD).

Por otro lado, el usuario de Oracle creado para alojar los datos de IPAS tiene una fecha de caducidad aproximadamente 6 meses desde finales de mayo de 2020.

Para hacer un “diagnóstico” de las licencias:

1. Iniciar sesión en la máquina IPAS y abrir una terminal
2. Cambiar a cuenta raíz (se requiere contraseña raíz). Escribir “su -” y pulsar Intro.
3. Introducir la contraseña raíz: toto123
4. Desde la cuenta raíz, cambiar a la cuenta de Oracle (no se requiere contraseña). Escribir “su - oracle” y pulsar Intro.
5. Ingresar el entorno de comando sqlplus “sqlplus /nolog” y pulsar Intro
6. Conectarse como administrador de la base de datos (no se requiere contraseña). Escribir “connect / as SYSDBA”
7. Verificar el estado de la cuenta. Escribir “SELECT username, account\_status FROM dba\_users;” y pulsar intro.



USERNAME	ACCOUNT_STATUS
SYSTEM	OPEN
SYS	OPEN
UNISCAPE	EXPIRED(GRACE)
APEX_PUBLIC_USER	LOCKED
APEX_040000	LOCKED
ANONYMOUS	LOCKED
XS\$NULL	EXPIRED & LOCKED
USERNAME	ACCOUNT_STATUS
OUTLN	EXPIRED & LOCKED
XDB	EXPIRED & LOCKED
CTXSYS	EXPIRED & LOCKED
MDSYS	EXPIRED & LOCKED
FLows_FILES	EXPIRED & LOCKED

12 rows selected.

Figura 20: Error de licencias 1

8. Comprobar la fecha de caducidad de la cuenta. Escribir “SELECT username, expiry\_date FROM dba\_users;” y pulsar Intro.

USERNAME	EXPIRY_DATE
SYSTEM	08-JUL-20
SYS	08-JUL-20
UNISCAPE	23-JUL-20
APEX_PUBLIC_USER	24-FEB-12
APEX_040000	24-FEB-12
ANONYMOUS	24-FEB-12
XS\$NULL	28-AUG-11
USERNAME	EXPIRY_DATE
OUTLN	10-JAN-20
XDB	28-AUG-11
CTXSYS	10-JAN-20
MDSYS	10-JAN-20
FLows_FILES	10-JAN-20

12 rows selected.

Figura 21: Error de licencias 2

Para corregir esto:

9. Reescribir la contraseña. Escribir “ALTER USER UNISCAPE IDENTIFIED BY ipas0;” y pulsar Intro.
10. Desbloquear cuenta. Escribir “ALTER USER UNISCAPE ACCOUNT UNLOCKED;” y pulsar Intro.
11. Limitar el tiempo de vida de la contraseña. Escribir “ALTER PROFILE DEFAULT LIMIT PASSWORD\_LIFE\_TIME UNLIMITED;” y pulsar Intro.
12. A partir de este paso, es posible reiniciar el diagnóstico:
  - Escribir “SELECT username, account\_status FROM dba\_users;” y pulsar intro.
  - Escribir “SELECT username, expiry\_date FROM dba\_users;” y pulsar Intro.
13. Salir de SQL Plus. Escribir “exit”.



### 2.2.1.- Verificar World Reference Data

El soporte técnico es el encargado de importar los últimos datos de referencia mundiales actualizados durante la creación de la base de datos de simulación antes de comenzar la construcción de la misma. Por ejemplo, si los datos de referencia no están actualizados, algunas aerolíneas nuevas no se pueden encontrar al importar vuelos o puntos de navegación en rutas de aeronaves. La versión contenida en la creación de este manual es la actualización de 2019. Se recomienda validar los datos hasta la fecha de la versión, por si es necesario hacer uso de ellos.

Entre todos los datos de referencia mundial definidos para la simulación se encuentran los tres principales grupos de datos mundiales para validar:

- *Puntos GEO mundiales*: estos puntos representan todos los puntos de navegación existentes en todo el mundo definidos para la simulación. Aunque esto no es del todo exacto, ya que están definidos los puntos de rutas internacionales. Por lo tanto, si se buscan puntos de navegación nacional no se encontrará ninguno de ellos.

Los puntos de navegación se componen de 3 letras (tipos VOR, VOR\_DME...VHF) y 5 letras (nombres de puntos).

- *Aerolíneas*: las aerolíneas representan la lista de líneas aéreas definidas para la simulación.
- *Aeropuertos*: los aeropuertos representan todos los aeropuertos existentes en todo el mundo definidos para la simulación actual.

Una vez verificada la información, se procederá a la creación de dominios, una de las partes más importantes para la inicialización de la simulación.

### 2.2.2.- Creación de dominios

Para el comienzo de la creación de los dominios se debe acudir a la función DATASET. Al comienzo de la simulación se recomienda crear todos los dominios (familia de datos), pero es imprescindible crear primero un dominio AIRSPACE de referencia (dominio ligado al escenario de simulación). Por lo tanto, para cada una de las creaciones de dominio, se debe seleccionar el tipo de dominio que se desea crear, comenzando por el dominio AIRSPACE si no existe. Esto es porque cualquier otro dominio creado deberá estar vinculado a un dominio AIRSPACE para su creación.

Cuando se cree un dominio diferente a este, se debe elegir el dominio AIRSPACE al que estará ligado dentro de la lista de espacios aéreos disponibles (a través del botón "Link to airspace").

Dentro de la máquina IPAS usamos los dominios para clasificar los datos. Primero, hay que asegurarse de tener todos los datos necesarios disponibles para construir el espacio aéreo objetivo: coordenadas de puntos de navegación, puntos de referencia de aeropuertos y puntos de contorno de sector, umbrales de pista (necesario solo si SID y STAR están definidos), ...

Después, conectarnos a la herramienta IPAS y elegir una simulación de destino. Aquí se debe de elegir cualquier simulación de ejemplo aportada por EUROCONTROL, ya que para el acceso a la función de creación de dominios es necesario tener una simulación seleccionada.

Tras esto, se elige la función DATASET, donde se crearán los dominios. Para la creación del primer dominio:

1. Seleccionar el botón “DOMAINS” en la parte superior, en “Display list of:”.
2. Seleccionar el dominio a crear. Si es el primer dominio, se debe crear el dominio AIRSPACE.
3. En el menú superior, seleccionar “Edit” y posteriormente “Create”.
4. Escribir nombre del dominio y descripción (si es necesario). Pulsar “Create”.
5. En el menú superior, seleccionar “File” y posteriormente “Validate”

Es importante el paso final de validación para que se guarden los cambios correctamente. Por otra parte, si el dominio creado es diferente de AIRSPACE hay que añadirle una acción más a la serie de pasos anteriores tras escribir el nombre y antes del “Create”, el cual consiste en enlazar el dominio creado al dominio AIRSPACE, como se ha nombrado antes (“Link to airspace”).

A parte del dominio AIRSPACE, es necesario crear los dominios:

- TRAFFIC SAMPLE: Las aeronaves de la simulación, incluyendo horas de entrada en el espacio aéreo, modelo de aeronave, ruta, ...
- CONSTRAINT CONFIGURATION: Normas a seguir automáticamente por los controladores.
- ARCHITECTURE: Centros de control, número de controladores, pilotos, ...
- METEO ENVIROMENT: Temperatura del aire, velocidad del viento, ...

Aunque, de momento, no es necesario introducir ninguna de estas cosas, solo crear los dominios donde irán alojados estos datos. Se debe recordar validar los datos al final para que todos los cambios queden guardados.

Desde el menú superior “Edit”, no solo se pueden crear dominios, sino que también se pueden duplicar, modificar o eliminar. Para cualquiera de estas acciones hay que tener un dominio concreto seleccionado.

### 2.2.3.- Creación de un ejercicio

Por otro lado, todos los dominios creados deben de estar incluidos en un ejercicio, el cual tendrá una serie de características asignadas, como la duración del mismo. Es importante mencionar que un dominio puede estar incluido en diferentes dominios y no es necesario duplicarlo para crear otro ejercicio, a no ser que se vaya a realizar algún tipo de cambio.

Para la creación de un ejercicio, se debe de hacer desde la función DATASET, al igual que los dominios. En este caso:

1. Seleccionar el botón “EXERCISES” en la parte superior, en “Display list of:”.
2. Seleccionar el dominio a crear. Si es el primer dominio, se debe crear el dominio AIRSPACE.
3. En el menú superior, seleccionar “Edit” y posteriormente “Create”.
4. Escribir nombre del ejercicio, la fecha en la que estaría situada la simulación en formato DAY/MONTH/YEAR con XX/XX/XXXX y la hora a la que comenzaría la simulación en formato XX:XX. Se recomienda seleccionar una hora 5 minutos antes de la aparición del primer vuelo en el espacio aéreo de la simulación.
5. Escribir descripción (si es necesario).

6. Enlazar el ejercicio con todos y cada uno de los 5 dominios. Pulsar “Create”
7. En el menú superior, seleccionar “File” y posteriormente “Validate”

Al igual que los dominios, un ejercicio puede ser modificado, duplicado y eliminado desde el menú superior “Edit”. Es importante saber que un dominio no podrá ser eliminado hasta que no se haya eliminado el ejercicio al que está enlazado, si es que está enlazado a alguno.

Una vez hecho esto, ya está todo preparado para empezar a introducir los datos de la simulación en cada uno de sus grupos.

## 2.3.- Datos de los dominios AIRSCAPE y ARCHITECTURE: Entorno de simulación

Antes de comenzar a introducir el resto de datos, es necesario tener bien definida el área de simulación. Debido a la forma cuadrangular del área de simulación, se recomienda que esta contenga al espacio aéreo que se quiere simular y que los huecos sobrantes en el espacio aéreo se definan como sectores de alimentación (FEED).

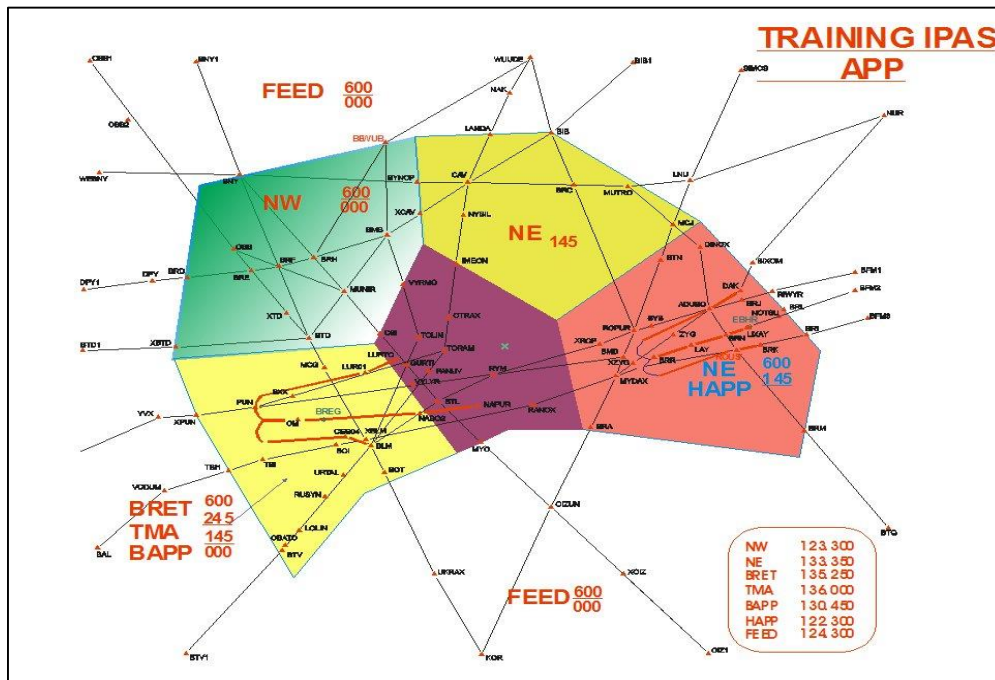


Figura 24: Ejemplo de espacio aéreo de IPAS

Como se puede ver en ejemplo de la imagen, el hecho de que el área de simulación sea cuadrangular hace que la posibilidad de que el espacio aéreo a simular se adapte a ella sea muy remota, por lo que se extiende más allá del espacio aéreo objetivo y se definen sectores de alimentación (FEED) por los que las aeronaves aparecerán o desaparecerán de la simulación. Puede haber uno o varios sectores de alimentación definidos.

La ventana de simulación se expresará en latitud y longitud mediante los dos puntos inferiores y los dos superiores, además de un punto que será el centro de la ventana.

### 2.3.1.- Área de simulación

Antes de acceder a la definición del área de simulación es necesario cargar el ejercicio que se acaba de crear. Para ello, una vez validados los datos en la función DATABASE, salimos de ella con el menú superior "File" y "exit". De vuelta en el menú de IPAS:

1. Seleccionar "Clear" para limpiar rápidamente los seleccionables.
2. Seleccionar "Exercise" y elegir el ejercicio que se quiere cargar.
3. Seleccionar "Validate".

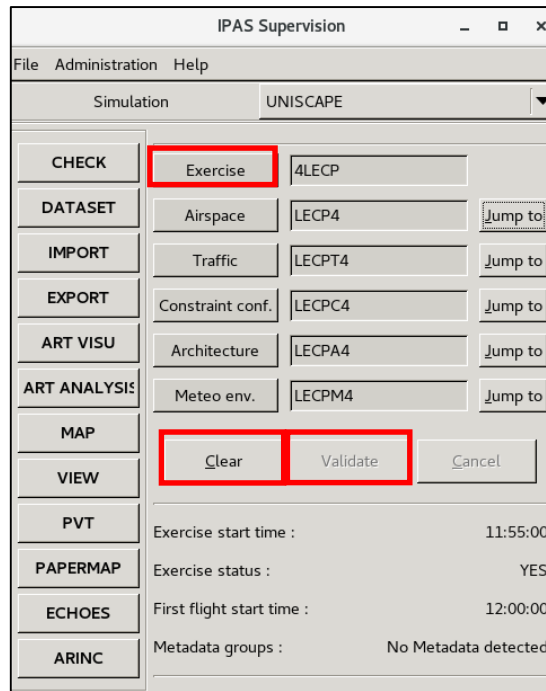


Figura 25: Ejercicios de IPAS

Una vez hecho esto, ya estará correctamente cargado el ejercicio con todos los dominios creados.

Durante la creación de estos dominios, en especial el de AIRSPACE, IPAS genera automáticamente una serie de elementos vitales para la simulación, cuyos valores se establecen con valor de cero. Entre estos elementos se encuentran los puntos "SWCE", que determinan el Área de simulación. De este modo, se deberá de modificar dichos puntos con las coordenadas de la ventana de simulación.

Para ello:

1. Seleccionar "Jump to" en la línea de Airspace para abrir la base de datos ligada al dominio.

Cuando se hable de herramienta "Airspace" o "Architecture"

2. Seleccionar "GEO POINTS" en las ventanas de tipos de elementos.
3. Buscar los puntos "SWCE", seleccionar uno con click izquierdo y seleccionar "Modify" en el menú superior.
4. Introducir las coordenadas en formato XX° XX' N/S XX'' XXX° XX' E/W
5. Seleccionar "OK"
6. Repetir los últimos 3 pasos con el resto de puntos "SWCE"
7. Validar con "Commit database"

"Commit database" será la acción indispensable para guardar los cambios en los dominios, al igual que "Validate" guardaba los cambios en la herramienta "DATABASE".

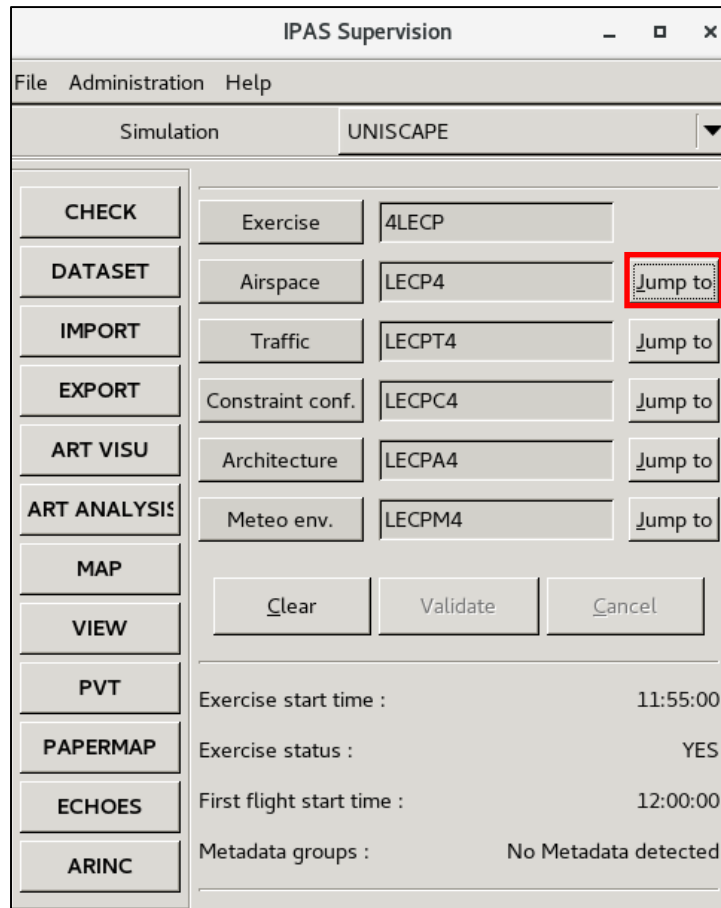


Figura 26: Herramienta Airspace IPAS

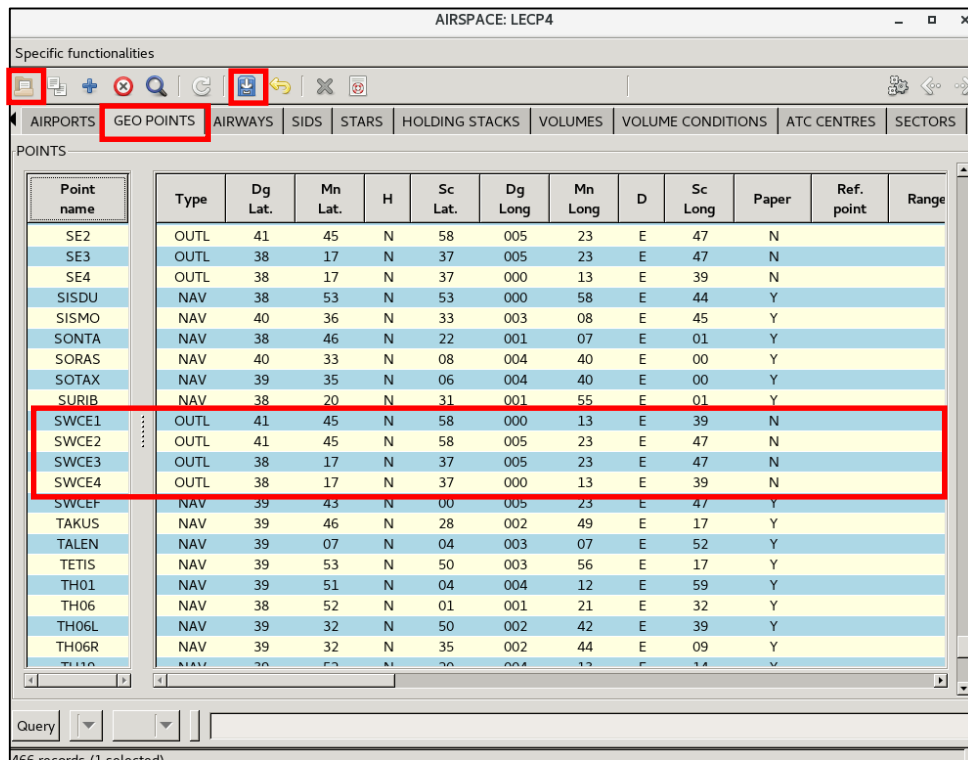


Figura 27: Puntos de definición del volumen de simulación



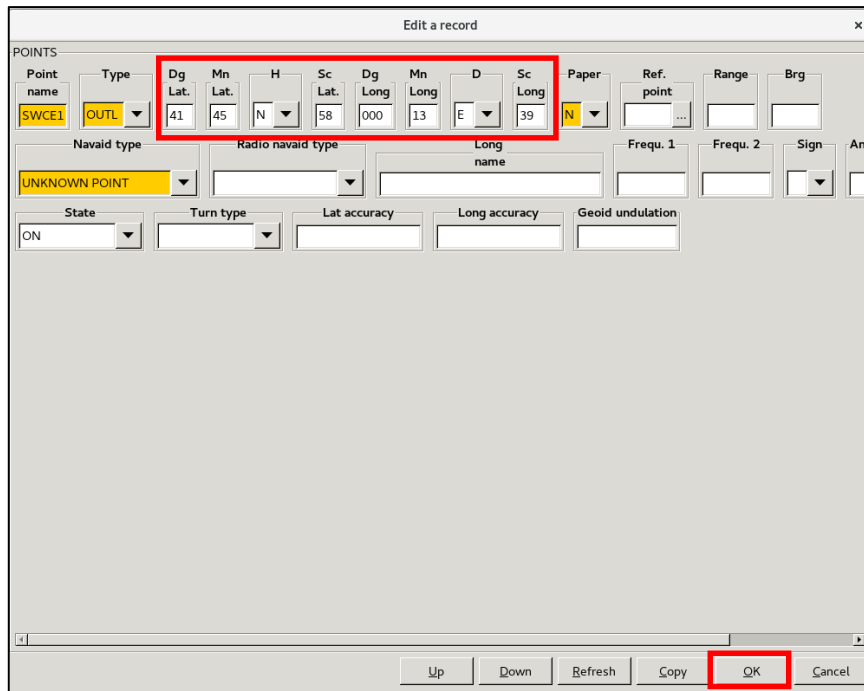


Figura 28: Coordenadas de puntos

Del mismo modo, la creación del dominio AIRSPACE genera automáticamente un nuevo volumen denominado “SWCE” con 4 esquinas, 4 puntos, nombrados de SWCE1... a 4. Por lo tanto, al estar definido por los puntos que ya hemos modificado, el volumen ahora tendrá las dimensiones pertenecientes a estas coordenadas. De manera predeterminada, el volumen SWCE tiene como límite inferior FL000 y superior FL999. Se recomienda no cambiar dichos límites.

Este volumen lo podemos encontrar en la ventana de elementos “VOLUMES”. Para ver todos los elementos que sepueden seleccionar, hacer click derecho en cualquiera de las ventanas de elementos para ver la lista de los disponibles.

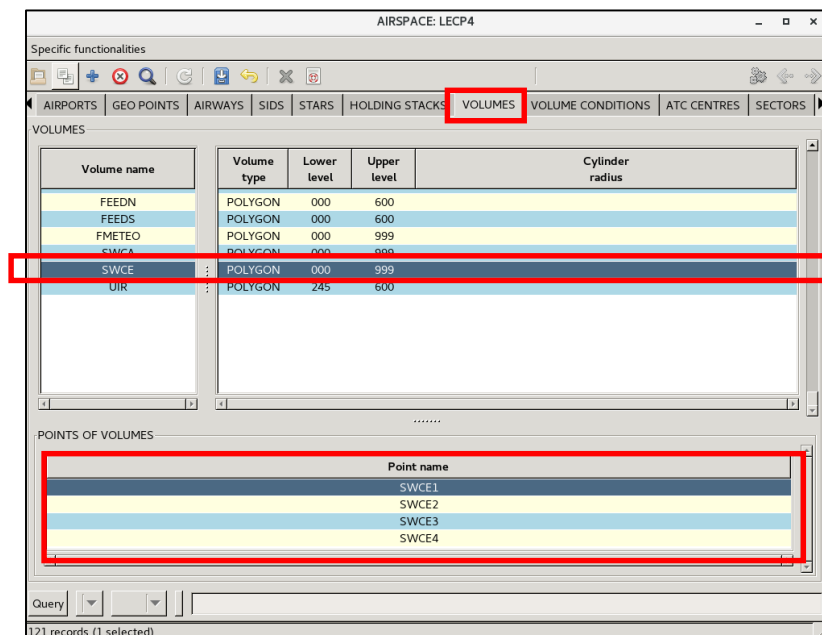


Figura 29: Volumen de simulación

Es importante mencionar que el sistema bajará automáticamente 2 grados los dos puntos inferiores del área (SWCE3 y SWCE4) para aumentar la ventana (centro de software) de acuerdo con esta restricción. Esto es para tener en cuenta la proyección de las aeronaves sobre la tierra en la parte inferior de la ventana de simulación, y para no considerar las aeronaves fuera de la ventana cuando vuelan cerca del límite inferior.

Es por eso que se recomienda duplicar ahora los puntos SWCE con sus coordenadas actuales con nuevos nombres respectivamente (específicos para estos ejercicios de simulación):

- SWCE1 duplicado como SE1
- SWCE2 duplicado como SE2
- SWCE3 duplicado como SE3
- SWCE4 duplicado como SE4

Estos puntos “SEX” pueden utilizarse más adelante para determinar el límite de los volúmenes que definan la cobertura del radar.

Para duplicarlos, se deben de seleccionar con el click derecho en “GEOPOINTS” en la función de introducción de datos de Airspace y seleccionar “Duplicate Selected Record”. Posteriormente, se introduce el nuevo nombre y se selecciona el botón “OK”. No olvidar hacer “Commit database” cuando se acaben las acciones.

Point name	Type	Dg Lat.	Mn Lat.	H	Sc Lat.	Dg Long	Mn Long	D	Sc Long	Paper	Ref. point	Range
SE2	OUTL	41	45	N	58	005	23	E	47	N		
SE3	OUTL	38	17	N	37	005	23	E	47	N		
SE4	OUTL	38	17	N	37	000	13	E	39	N		
SISDU	NAV	38	53	N	53	000	58	E	44	Y		
SISMO	NAV	40	36	N	33	003	08	E	45	Y		
SONTA	NAV	38	46	N	22	001	07	E	01	Y		
SORAS	NAV	40	33	N	08	004	40	E	00	Y		
SOTAX	NAV	39	35	N	06	004	40	E	00	Y		
SURIB	NAV	38	20	N	31	001	55	E	01	Y		
SWCE1	OUTL	41	45	N	58	000	13	E	39	N		
SWCE2	OUTL	41	45	N	58	005	23	E	47	N		
SWCE3	OUTL	38	17	N	37	005	23	E	47	N		
SWCE4	OUTL	38	17	N	37	000	13	E	39	N		
SWCEF	NAV	39	43	N	00	005	23	E	47	Y		
TAKUS	NAV	39	46	N	28	002	49	E	17	Y		
TALEN	NAV	39	07	N	04	003	07	E	52	Y		
TETIS	NAV	39	53	N	50	003	56	E	17	Y		
TH01	NAV	39	51	N	04	004	12	E	59	Y		
TH06	NAV	38	52	N	01	001	21	E	32	Y		
TH06L	NAV	39	32	N	50	002	42	E	39	Y		
TH06R	NAV	39	32	N	35	002	44	E	09	Y		
TH10	NAV	39	30	N	20	004	13	E	14	Y		

Figura 30: Commit database

### 2.3.2.- Punto de proyección central

Lo siguiente será la creación del punto de proyección central. Este punto debe de haber sido previamente calculado, siendo las coordenadas del punto del centro de la simulación (aquel punto resultante del cruce de la intersección de las dos diagonales de la simulación). Una vez se tienen los datos necesarios, se debe primero crear el punto en GEOPOINTS y luego ser seleccionado en PROJECTION CENTRE POINT.

Para hacer esto:

1. Seleccionar la ventana de elementos “GEOPOINTS”.
2. Seleccionar “Add a new record”
3. Introducir el nombre del punto (“CENT” por ejemplo) e introducir las coordenadas previamente calculadas).
4. Seleccionar “OK” y “Commit database”.
5. Seleccionar la ventana de elementos “PROJECTION CENTRE POINT”
6. Seleccionar “Add a new record”
7. Introducir el nombre del punto de nuevo y seleccionar “...” para elegir el punto.
8. Seleccionar el punto antes creado y pulsar “OK”
9. “Commit database”

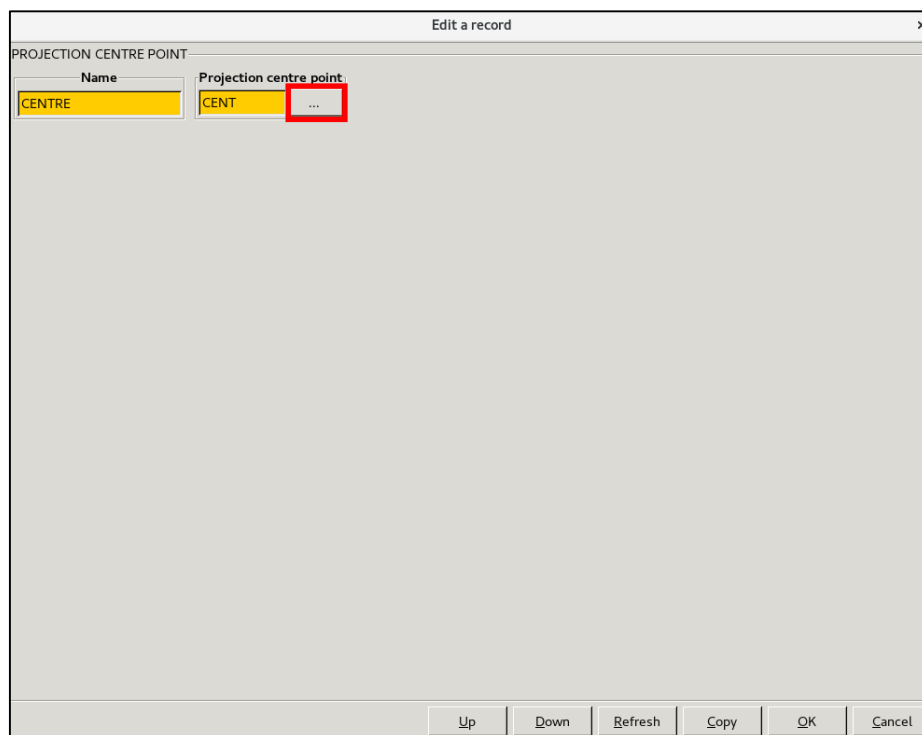


Figura 31: Punto central

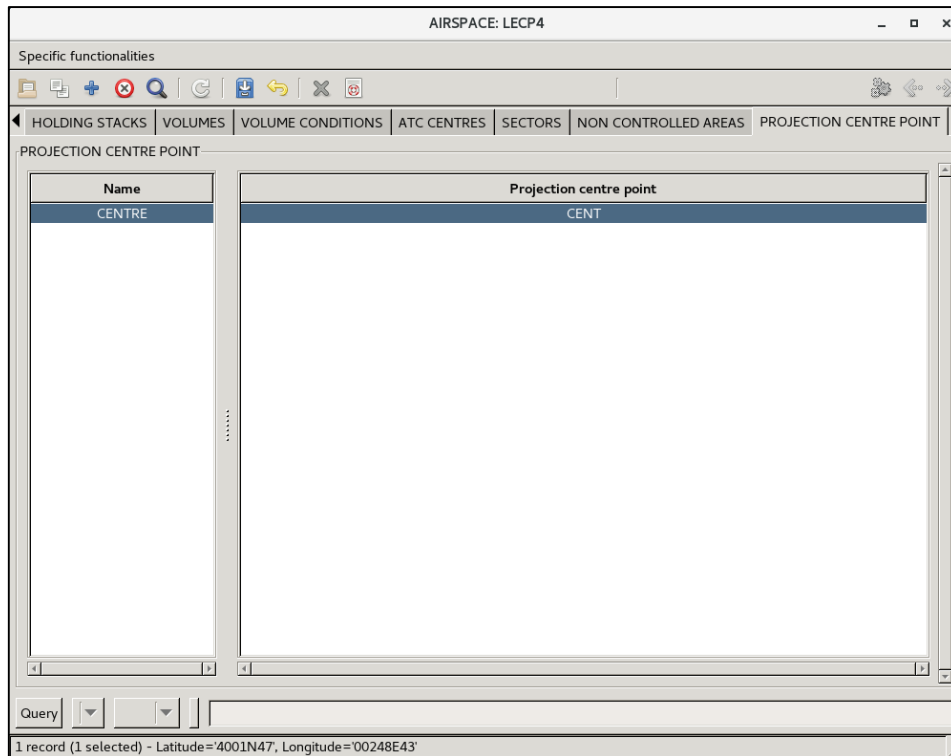


Figura 32: Punto central 2

Ningún punto (OUTL o NAV...) debe estar fuera de la ventana de simulación. Por esta razón, todos los puntos DUMMY y COPX no permanecerán en la posición 0 grados. Por lo tanto, después de haber definido la posición de los puntos “SWCE” (ventana de simulación) y el “PROJECTION CENTRE POINT”, se debe salir de la función de entrada de datos (después de validarlos) y abrir nuevamente la entrada de datos. De este modo, IPAS modificará automáticamente la posición de los puntos DUMMY y COPX para recalcular todos estos puntos predeterminados dentro de la ventana de simulación definida alrededor del punto central.

¿Qué son los puntos ficticios o puntos DUMMY? Si falta un punto, una coordenada desconocida, por ejemplo, para no verse obligado a detenerse en el progreso de la construcción de su simulación, este punto DUMMY puede reemplazar temporalmente cualquier punto en la definición de un dato como una ruta. La función “CHECK” invita a sustituir estos puntos por puntos reales antes de entregar los datos.

Los datos DUMMY están presentes en varias pestañas (tipo de datos) de su espacio aéreo.

En estos momentos, ya se puede hacer uso de la función de IPAS “CHECK”, la cual proporcionará los errores o posibles datos que son necesarios para la simulación y el usuario aún no ha introducido. Para que un ejercicio se pueda simular, debe de no tener ningún error en la función “CHECK”.

Una vez en ella, seleccionar “Check” en el menú superior y posteriormente “Current exercise”. Esto arrojará los posibles errores de la simulación.

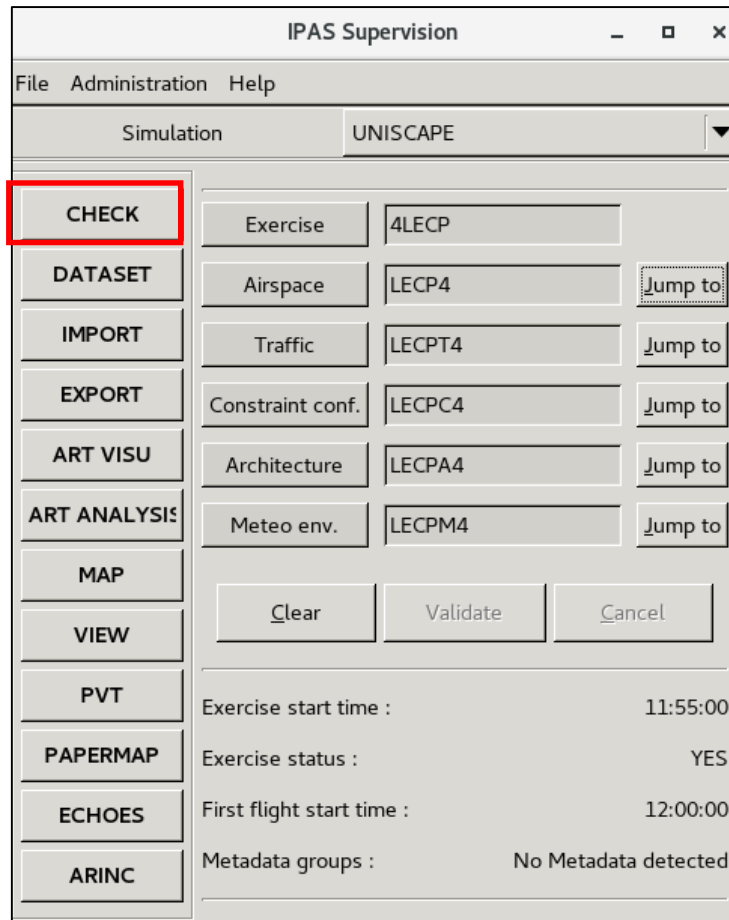


Figura 33: Herramienta CHECK de IPAS

Esta es la imagen que debería de tener un ejercicio listo para simular:

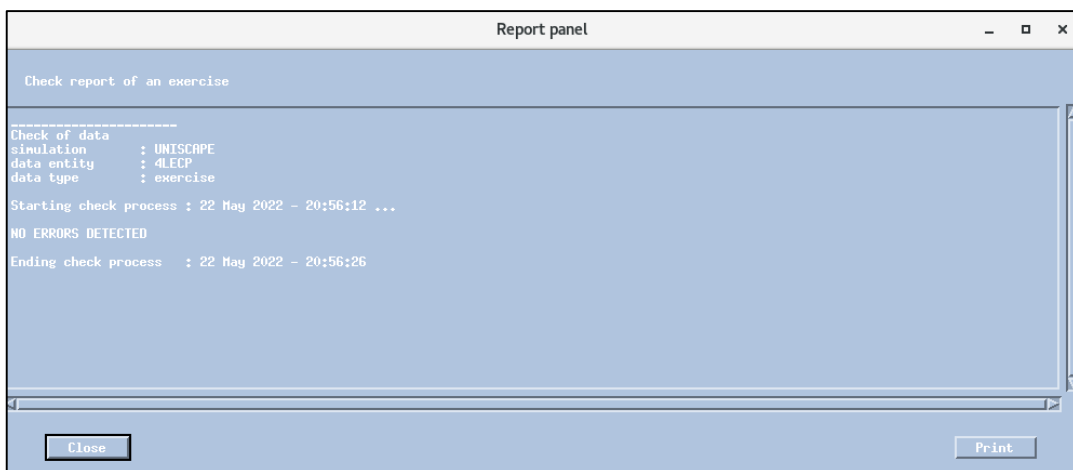


Figura 34: Ejemplo sin errores de CHECK

2.3.3.- Método lógico

En el siguiente diagrama se puede observar el proceso lógico que sigue el software y la introducción de datos en el mismo. Es un resumen de las acciones que se puede llevar a cabo.

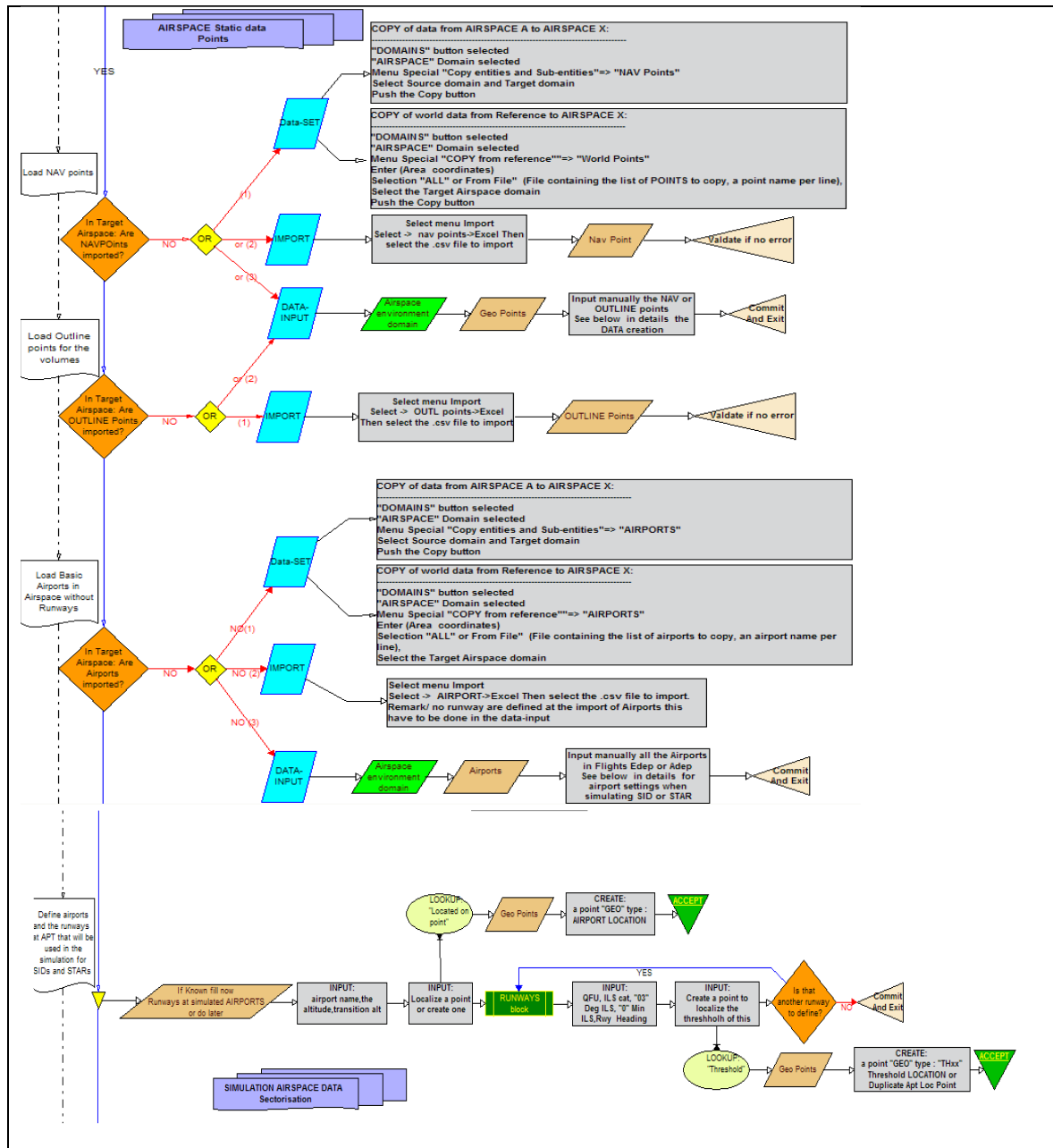


Figura 35: Método lógico de ESCAPE

### 2.3.4.- Puntos de contorno y de navegación (OUTL y NAV)

En esta fase de la creación de la simulación será necesario tener todas las coordenadas de los puntos, de navegación o de contorno, en formato XX°XX'XX''N/S XXX°XX'XX''E/W. Esta información se puede obtener prácticamente en su totalidad en el sitio web de la organización a cargo del espacio aéreo del país donde se encuentre el espacio aéreo que se quiere simular.

Si se cumplen los requisitos, existe otra posibilidad que consiste en pedir los permisos necesarios para el acceso a la base de datos “DDR” de EUROCONTROL si el espacio aéreo a simular se encuentra en Europa.

Ahora, se procederá a explicar la carga de puntos de Navegación (NAV), utilizados en los planes de vuelo de las aeronaves, y luego los puntos Outline (OUTL), requeridos por los volúmenes que definen los sectores u otros volúmenes técnicos en el espacio aéreo.

Como se muestra en el método lógico anterior, existen tres maneras de llevar este proceso a cabo (son complementarios, el uso de uno de ellos no descarta el de los demás).

Estas tres formas son:

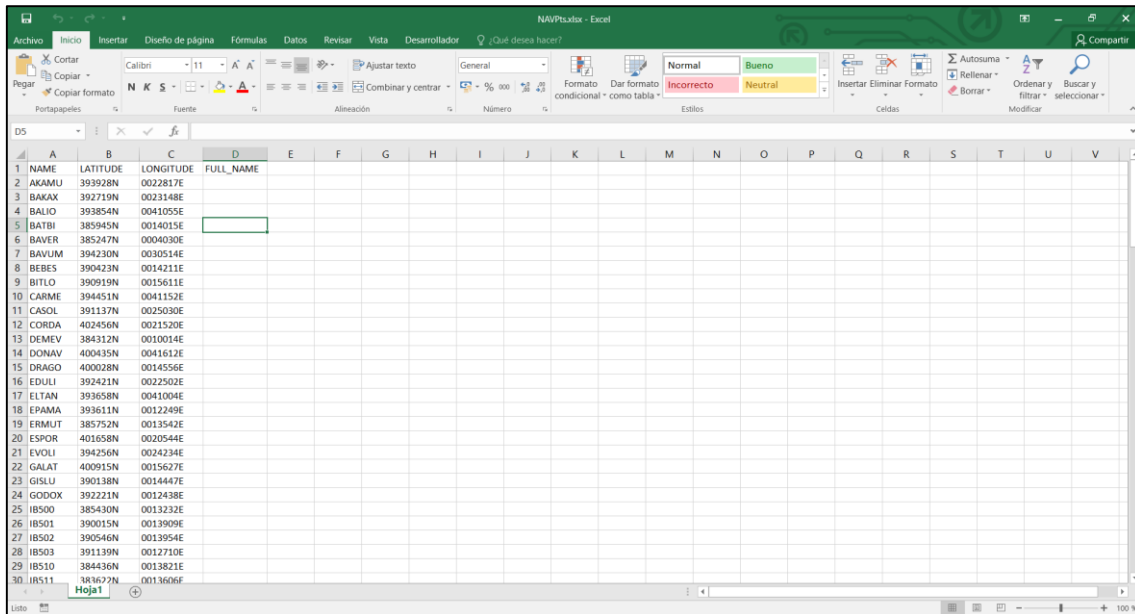
- El “Dataset” o conjunto de datos: copias de datos de referencia mundial existentes en el espacio aéreo a simular. Dependen de la versión del software.
- La importación: la introducción de datos mediante un archivo CSV de Excel, preparado de antemano con la forma idónea para la lectura de dichos datos.
- La entrada de datos: la introducción de datos de forma manual, individualmente, a través de la interfaz NEDI, es decir, la herramienta en la que anteriormente modificamos los puntos.

La forma más efectiva es la importación, pero es de utilidad conocer la entrada de datos manual por si se quieren introducir puntos en un momento aislado. En este caso, ya se conoce el procedimiento: seleccionar la ventana de “GEOPOINTS”, seleccionar “Add a new record” en el menú superior e introducir las características relevantes del punto.

En cuanto a la importación de puntos, y extensible a cualquier tipo de datos, el procedimiento es el siguiente:

1. El primer paso será activar la transferencia de archivos desde la máquina física a la máquina virtual. Para ello, hay que introducirse en VirtualBox, en la configuración general de la imagen de IPAS. Una vez allí, seleccionar la ventana “Avanzado” y en los seleccionables “Compartir portapapeles:” y “Arrastrar y soltar” elegir “Bidireccional”. De esta manera se habilita la transferencia de archivos entre máquinas.
2. Lo siguiente será arrastrar el archivo .csv que se quiera importar a la localización: /home/IPAS\_data/rep\_import/UNISCAPE. Se pueden arrastrar directamente a esta dirección o crear carpetas para la organización de diferentes archivos, si es necesario.
3. Ejecutar IPAS
4. Seleccionar la función IMPORT
5. Seleccionar “Import” en el menú superior de la herramienta, seleccionar el tipo de dato a importar (puntos NAV o OUTL) y “Excel (csv)”.
6. Seleccionar el archivo, buscando en la dirección antes mencionada y pulsar OK.
7. Seleccionar el espacio aéreo al que se quiere importar el archivo.
8. Seleccionar “Start” y una vez finalizado el proceso “Validate”. En la pantalla aparecerá cualquier error o información que haya surgido en la importación.
9. Para salir, seleccionar “General” en el menú superior y “Quit”.

La forma que debería de tener un archivo Excel de puntos antes de ser exportado en formato .csv es la siguiente:



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	NAME	LATITUDE	LONGITUDE	FULL_NAME																		
2	AKAMU	393928N	0022817E																			
3	BAKAX	392719N	0023148E																			
4	BALIO	393854N	0041055E																			
5	BATBI	385945N	0014015E																			
6	BAVER	385247N	0004030E																			
7	BAVUM	394230N	0030514E																			
8	BESES	390423N	0014211E																			
9	BITLO	390919N	0015611E																			
10	CARME	394451N	0041152E																			
11	CASOL	391137N	0025030E																			
12	CORDA	402456N	0021520E																			
13	DEMEV	384312N	0010014E																			
14	DONAV	400435N	0041612E																			
15	DRAGO	400028N	0014556E																			
16	EDULI	392421N	0022502E																			
17	ELTAN	393658N	0041004E																			
18	EPAMA	393611N	001249E																			
19	ERMLT	385752N	0013542E																			
20	ESPOR	401658N	0020544E																			
21	EVOLI	394256N	0024234E																			
22	GALAT	400915N	0015627E																			
23	GISLU	390138N	0014447E																			
24	GODOX	392221N	0012438E																			
25	IB500	385430N	0013232E																			
26	IB501	390015N	0013909E																			
27	IB502	390546N	0013954E																			
28	IB503	391139N	0012710E																			
29	IB510	384436N	0013821E																			
30	IB511	383627N	0013606E																			

Figura 36: Ejemplo de puntos.xls

Cada tipo de dato tiene una forma específica en Excel para que se pueda importar correctamente. Se recomienda crear manualmente por primera vez un tipo de dato y, mediante la función EXPORT de IPAS, exportar dicho dato a la localización por defecto de exportación de IPAS (aparece en la herramienta). Una vez hecho esto, se arrastra desde la máquina virtual a la máquina física y se abre con el software Excel.

De este modo, se tendrá una pequeña plantilla de la forma idónea para la introducción de ese tipo de dato en concreto.

### 2.3.5.- La herramienta ART VISU

La herramienta ART VISU de IPAS permitirá tener un apoyo visual durante su creación. Será en esta herramienta donde se acudirán para comprobar que los elementos introducidos están dispuestos correctamente, además ofrecerá ayuda acerca de los posibles fallos o elementos faltantes de la simulación. Al igual que la herramienta CHECK, se recomienda acudir a ART VISU regularmente e ir comprobando los datos introducidos para la simulación.

Para acceder a la herramienta ART VISU de IPAS, se deberá seleccionar el botón “ART VISU” en IPAS.



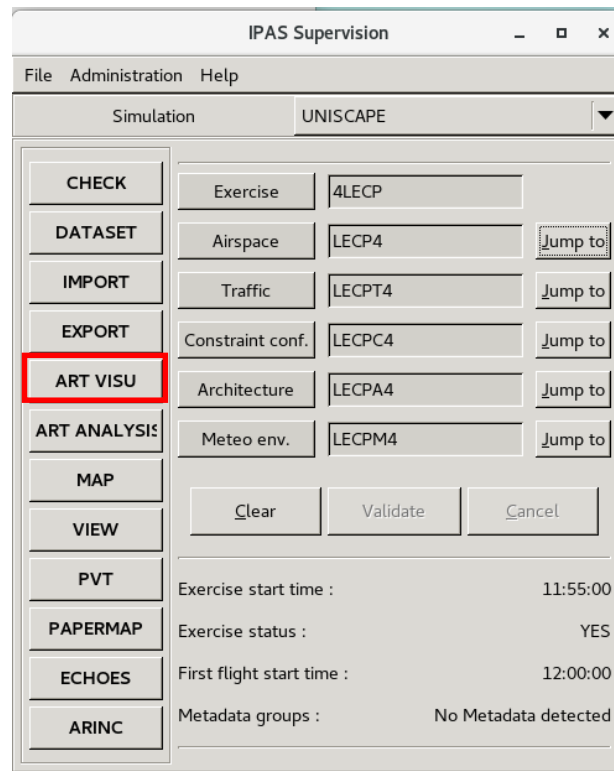


Figura 37: Herramienta ART-VISU de IPAS

Lo primero nada más acceder a la herramienta que se observará es un mensaje de texto en el que pone información acerca de todos los datos introducidos, además de los posibles errores o datos faltantes e imprescindibles para la correcta simulación.

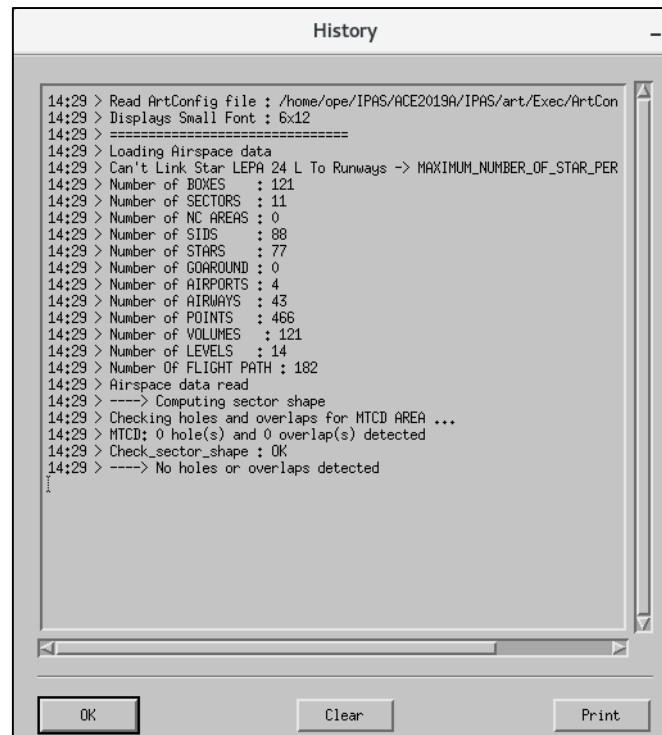


Figura 38: Historial de ART-VISU

Esta es la apariencia de un mensaje que aparece en un caso construido. En él, se puede ver cómo define el número de datos introducidos de cada elemento. Además, también comunica que hay un error debido al exceso de procedimientos STAR asignados a una misma runway, por lo que deberá de descartarse algunos de estos procedimientos para una correcta simulación del caso.

Una vez dentro de la herramienta, se podrá elegir qué elementos se quiere que aparezcan, sus nombres, intersecciones con otros elementos o incluso filtrar por elemento dentro de la pestaña “Airspace”. También permitirá hacer zoom in o zoom out sobre el radar o incluso hacer zoom a un sector concreto en la pestaña “Radar Display”.

En el caso de que exista cualquier tipo de espacio aéreo no controlado (hole) será especificado en esta herramienta, además de otorgar información acerca de donde se encuentra ese espacio aéreo no controlado y sus límites inferior y superior. Esta herramienta de gran utilidad se encuentra en la pestaña “Airspace”, “Sector” y “Display Sectors Shape”.

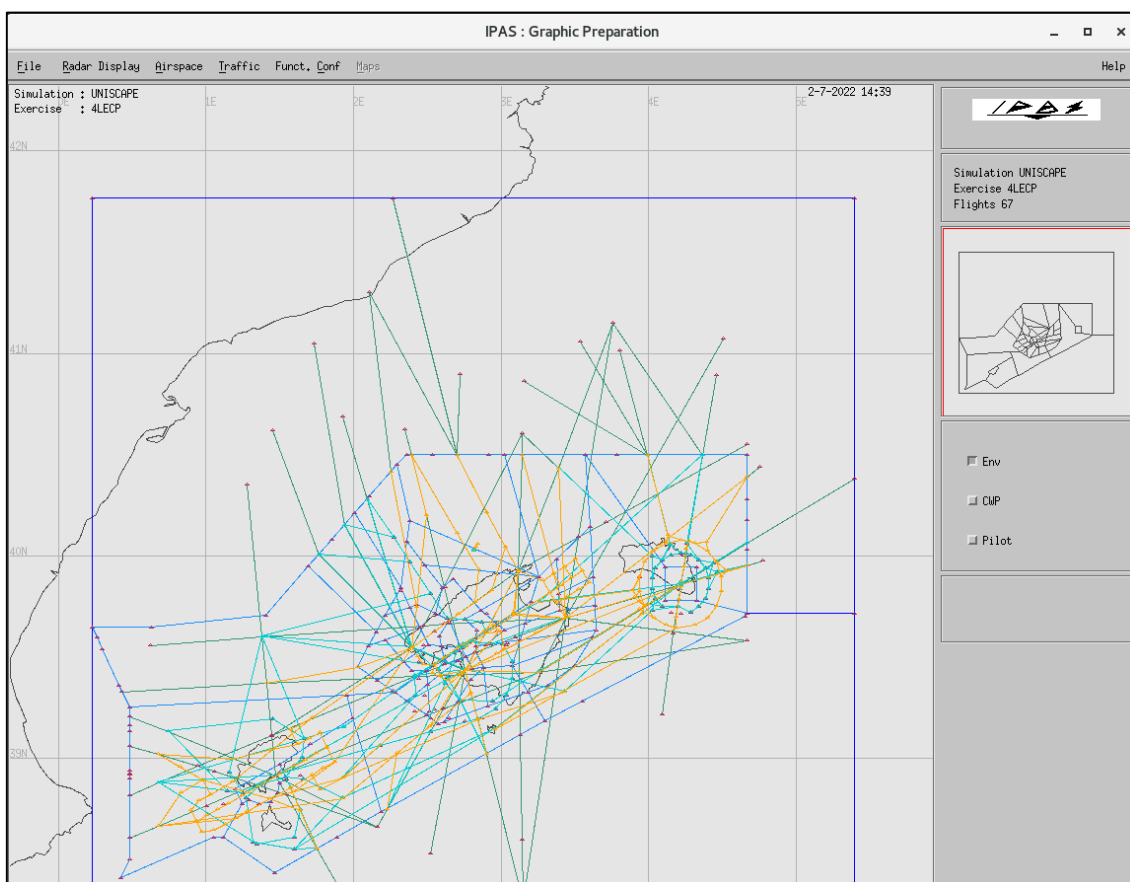


Figura 39: Ejemplo de espacio aéreo en ART-VISU

Esta es la apariencia de la herramienta ART VISU en el aeropuerto de Palma de Mallorca, incluidos los puntos NAV y OUTL, procedimientos, aerovías, volúmenes y sectores. Se recomienda acudir a esta herramienta de manera regular.

### 2.3.6.- Aeropuertos y runways

Ahora se mostrará cómo crear un aeropuerto con sus respectivas pistas. En una simulación se pueden crear tantos aeropuertos como sea necesario y contenga el espacio aéreo. Si se hace

esto, cada aeropuerto deberá de estar definido correctamente, con sus procedimientos SIDs o STARs respectivamente. De igual manera que los puntos, los aeropuertos pueden ser introducidos de dos maneras:

- **Importación:** Al igual que el resto de elementos, los aeropuertos pueden ser introducidos mediante la importación de un .csv con los atributos correctos. Para ello, se recomienda crear un aeropuerto y exportarlo con la herramienta “EXPORT”. Tras esto, si se tiene la configuración correcta como se ha explicado antes, podrás arrastrar dicho archivo al escritorio de tu maquina física y ver qué forma tiene, para después importarlos con la herramienta “IMPORT”. En el caso de los aeropuertos no marcará una diferencia notable, pero cuando haya que introducir otro tipo de dato más masivo es la opción más recomendable.
- **Manual:** La creación manual de aeropuertos se puede efectuar en la herramienta “Airspace”, al igual que los puntos. Dentro de ella, se procederá a crear el aeropuerto y su pista/as al mismo tiempo, por lo que tener los datos preparados será de gran ayuda.

Para la creación manual:

1. Seleccionar la ventana de elementos “AIRPORTS”.
2. Seleccionar “Add a new record”
3. Introducir el código del aeropuerto (nomenclatura ICAO).
4. Introducir la altitud del aeropuerto (ft).
5. Pulsar los tres puntos en “Located on point” y seleccionar un punto con las coordenadas del aeropuerto. Si este no ha sido previamente creado, puede crearse con el mismo procedimiento desde aquí.
6. Introducir el nombre completo del aeropuerto (opcional).
7. Introducir la altitud de transición (ft).

Ahora entramos en la fase de creación de la pista/as.

1. Seleccionar el botón “Add” en la parte inferior, al lado de “RUNWAYS”.
2. Introducir la dirección de la pista (QFU).
3. Introducir la distinción de la pista (L o R para izq o derecha y C para pista central única).
4. Introducir el equipamiento de aterrizaje de la pista.
5. Introducir el ángulo de la senda de planeo del ILS (grados).
6. Introducir el ángulo de la senda de planeo del ILS (minutos).
7. Introducir el “threshold point” de la pista. Este es el punto final de la pista. Si no se ha creado con anterioridad, puede crearse durante el proceso.
8. Introducir el “heading” de la pista.
9. Introducir la longitud de la pista.
10. Se recomienda copiar la “runway” recién creada y cambiar los datos necesarios para hacer la dirección opuesta. Es necesario definir las dos direcciones y extremos de la pista. Introducir cuantas pistas posea el aeropuerto.
11. Seleccionar “Validate” para validar las pistas introducidas.
12. Seleccionar “OK”.

Este es un ejemplo del aeropuerto de Palma de Mallorca, España (LEPA), el cual posee dos pistas paralelas:

The screenshot shows the 'Edit a record' window for airports in IPAS. The 'AIRPORTS' section contains the following data:

Airport code	Altitude	Located on point	Paper	Full name	Transition altitude
LEPA	8	LEPA	Y	PALMA DE MALLORCA	5000

The 'RUNWAYS' section contains a table with the following data:

QFU	Distinc.	Equ.	Deg ILS	Min ILS	Threshold...	Heading	Width	Length	Sign	Angle
06	R	ILS PRECISION CAT IIIA	3.0	3	TH06R	058	0.02	3000		
06	L	ILS PRECISION CAT IIIA	3.0	3	TH06L	058	0.02	3270		
24	R	ILS PRECISION CAT IIIA	3.0	3	TH24R	238	0.02	3270		
24	L	ILS PRECISION CAT IIIA	3.0	3	TH24L	238	0.02	3000		

Figura 40: Aeropuertos en IPAS

No se debe olvidar seleccionar “Commit Database” para guardar los datos introducidos. También se recomienda comprobar el ejercicio tras realizar varias acciones con la herramienta “CHECK”, para comprobar que los datos introducidos han sido correctos.

Es normal que aparezcan errores hasta que no se hayan introducido todos los datos.

### 2.3.7.- Procedimientos SIDs y STARs

Lo siguiente será la introducción de los diferentes procedimientos de los aeropuertos creados. Para esto, se debe de diferenciar entre los procedimientos STAR o de llegada y los procedimientos SID o de salida. Para la correcta introducción de los procedimientos se recomienda recurrir a las cartas de navegación que proporcionan las diferentes entidades encargadas del mantenimiento del espacio aéreo que se quiere simular, en las que aparecerán detallados todos y cada uno de los procedimientos existentes en los aeropuertos que se hayan introducido.

Como todos los elementos, los procedimientos pueden ser introducidos mediante la importación o mediante su introducción manual. Para ver la forma del archivo .csv e importar correctamente cada uno de los procedimientos se recomienda crear primero uno de manera manual, exportarlo y abrirlo en la máquina física. También se debe mencionar que la introducción de los procedimientos SID y STAR puede ser diferente, por lo que este proceso habrá que repetirlo con cada uno de ellos.

## SIDs

Una SID (Standard Instrumental Procedure) es un procedimiento de salida normalizado que algunos aeropuertos han establecido para simplificar los procedimientos de salida. Para su introducción manual se hará uso de nuevo de la herramienta “Airspace”, como el resto de elementos.

Una vez se tiene la herramienta “Airspace” abierta:

1. Seleccionar la ventana de elementos “SIDS”.
2. Seleccionar “Add a new record”
3. Introducir el nombre del procedimiento.
4. Seleccionar el aeropuerto al que pertenece el procedimiento. Este puede haber sido creado anteriormente o crearse con los pasos anteriores desde aquí.
5. Seleccionar el número de la pista a la que pertenece el procedimiento.
6. Seleccionar la distinción de la pista a la que pertenece el procedimiento (L, R o C).
7. Seleccionar el tipo de avión que puede hacer uso del procedimiento, normalmente se introduce “JET+TURBO+LIGHT”.

Ahora entramos en la fase de definición del recorrido del procedimiento.

8. Seleccionar el botón “Add” en la parte inferior, al lado de “SID SECTIONS”.
9. Seleccionar el nombre del punto. El primer punto que se debe de seleccionar no es el primer punto del procedimiento, sino que tiene que ser el punto “threshold” que se usó para la creación de la pista, en la creación de aeropuertos.
10. Seleccionar el botón “Add” o hacer “Copy” del último elemento creado.
11. Seleccionar el nombre del punto, ahora sí el primer punto del procedimiento SID. Después, introducir la altitud la altitud (ft) o la velocidad CAS (knots) objetivo en ese punto
12. Repetir los pasos 10 y 11 con los siguientes puntos del procedimiento en el orden que recorrería la aeronave en la salida
13. Seleccionar “Validate” para validar los puntos y sus características introducidas.
14. Seleccionar “OK” y “commit database”.

Se debe de repetir este proceso tantas veces como SID contengan los aeropuertos que se quieren simular. Se recomienda que los puntos usados para el procedimiento hayan sido introducidos con anterioridad.

The screenshot shows the 'Edit a record' window for a SID in IPAS. The window title is 'Edit a record'. The main area is titled 'SIDS'. At the top, there are several input fields: 'SID name' (BAV1Z), 'Airport' (LEPA), 'Runway' (24), 'Distinc.' (L), 'Aircraft type' (JET+TURBO+LIGHT), and 'Paper' (Y). Below these fields are buttons for 'Add', 'Copy', 'Remove', and 'Validate'. The main part of the window is a table with columns: 'Point name...', 'Target altitude', 'CAS', 'Description', and 'Visibility'. The table contains several rows of data, with the first row highlighted in yellow. At the bottom of the window are buttons for 'Up', 'Down', 'Refresh', 'Copy', 'OK', and 'Cancel'.

Point name...	Target altitude	CAS	Description	Visibility
TH24L				Y
JOAH1				Y
JOAH2				Y
BAKAX	2000			Y
BITLO				Y
BAVER	10000			Y

Figura 41: Procedimiento SID en IPAS

Desde ACE2009A IPAS considera la altitud del primer punto de la SID o del último punto de la STAR como altitud de referencia del aeropuerto. La entrada de datos IPAS evita que el usuario ingrese una altitud objetivo en el primer punto de una SID. El mensaje de error asociado a esta regla es: “SID <SID\_NAME>: No se requiere altitud objetivo en el primer punto de una SID”.

## STARs

Una STAR (Standard Terminal Arrival Route) es la ruta estándar de llegada terminal, el procedimiento publicado en el plan de vuelo IFR que siguen las aeronaves justo antes de llegar al aeropuerto de destino. Para su introducción manual se hará uso de nuevo de la herramienta “Airspace”, como el resto de elementos.

Una vez se tiene la herramienta “Airspace” abierta:

1. Seleccionar la ventana de elementos “STARS”.
2. Seleccionar “Add a new record”
3. Introducir el nombre del procedimiento.
4. Seleccionar el aeropuerto al que pertenece el procedimiento. Este puede haber sido creado anteriormente o crearse con los pasos anteriores desde aquí.
5. Seleccionar el número de la pista a la que pertenece el procedimiento.
6. Seleccionar la distinción de la pista a la que pertenece el procedimiento (L, R o C).

7. Seleccionar el tipo de avión que puede hacer uso del procedimiento, normalmente se introduce “JET+TURBO+LIGHT”.

Ahora entramos en la fase de definición del recorrido del procedimiento.

8. Seleccionar el botón “Add” en la parte inferior, al lado de “STAR SECTIONS”.
9. Seleccionar el nombre del punto. El primer punto que se debe de seleccionar es el primer punto del procedimiento. Este primer punto deberá de estar definido como “INITIAL” en el apartado “Approach phase”. Cada uno de los puntos puede ir acompañado de una altitud (ft) o velocidad CAS (knots) objetivo o, por otra parte, puede ir acompañado de límites inferior y/o superior de altitudes (ft) (“Not below altitude” o “Not above altitude”).
10. Seleccionar el botón “Add” o hacer “Copy” del último elemento creado.
11. Seleccionar el nombre del punto, el siguiente punto del procedimiento STAR. Este punto y los siguientes deben de ser definidos como “INTERMEDIATE” en el apartado “Approach phase”.
12. Repetir los pasos 10 y 11 con los siguientes puntos del procedimiento en el orden que recorrería la aeronave en la llegada, sin incluir el último punto.
13. Seleccionar el botón “Add” o hacer “Copy” del último elemento creado.
14. Seleccionar el nombre del punto, el último punto del procedimiento STAR. Este punto debe de ser definido como “FINAL” en el apartado “Approach phase”.
15. Seleccionar el botón “Add” o hacer “Copy” del último elemento creado.
15. Seleccionar el nombre del punto, el punto “threshold” que se usó para la creación de la pista, en la creación de aeropuertos. Este punto debe de ser definido como “FINAL” en el apartado “Approach phase”.
16. Seleccionar “Validate” para validar los puntos y sus características introducidas.
17. Seleccionar “OK” y “commit database”.

STAR name: CDP1B, Airport: LEMH, Runway: 01, Distinc.: C, Aircraft type: JET+TURBO+LIGHT, Paper: Y

STAR SECTIONS: Add, Copy, Remove, Validate

Point name...	Target altitude	CAS	Approach phase	Description	Not below altitude	Not above altitude	V
CDP			INITIAL		4000		
MS04		250	INTERMEDIATE		4000		
MHS13		250	INTERMEDIATE		3000		
MHS12		250	INTERMEDIATE		3000		
MHS11		250	INTERMEDIATE		3000		
BALIO		250	INTERMEDIATE	IAF	3000		
IF01		210	INTERMEDIATE	IF	2500		
FAP01		180	FINAL	FAP	1600	1600	
TH01			FINAL				

Buttons: Up, Down, Refresh, Copy, OK, Cancel

Figura 42: Procedimiento STAR en IPAS

La entrada de datos IPAS evita que el usuario ingrese una altitud objetivo en el último punto de una ESTRELLA. El mensaje de error asociado a esta regla es: “*STAR <STAR\_NAME>: No target altitude is required on the last point of a STAR. The airport altitude will be automatically used for generation*”

### 2.3.8.- Circuitos de espera

El paso siguiente consistirá en la creación de los circuitos de espera. Un circuito de espera consiste en una maniobra predeterminada que tiene el propósito de mantener a la aeronave en un corredor auxiliar o ruta auxiliar mientras espera instrucciones para su aproximación a tierra o para continuar su ruta prefijada anteriormente. Los circuitos de espera suelen estar contenidos en los procedimientos de llegada, por lo que su información se encuentra normalmente en las cartas de navegación de estos.

Al igual que el resto de elementos, los circuitos de espera pueden ser introducidos mediante la importación o mediante su introducción manual. Para ver la forma del archivo .csv e importar correctamente los circuitos de espera se recomienda crear primero uno de manera manual, exportarlo y abrirlo en la máquina física. Tras esto, ya se podrá crear un archivo .csv con la forma correcta de los circuitos de espera para su importación.

Del mismo modo, su introducción manual se hará con la herramienta “Airspace”. Una vez está abierta:

1. Seleccionar la ventana de elementos “HOLDING STACKS”.
2. Seleccionar “Add a new record”
3. Introducir el nombre del circuito de espera.
4. Seleccionar el punto contenido en el circuito de espera.
5. Introducir la orientación del circuito de espera (grados).
6. Introducir la longitud del tramo del circuito de espera (NM) o el tiempo en recorrer dicho tramo (s), el cual suele estar alrededor de los 60 segundos.
7. Introducir la altura máxima permitida para realizar dicho circuito y/o la altura mínima permitida para realizar dicho circuito.
8. Seleccionar el tipo de circuito de espera.
9. Seleccionar “OK” y “commit database”.

Hold name	Point name	Orientation	Turn	Leg length	Leg time	Maximum altitude	Minimum altitude	Hold type
LEIBKOKES06	KOKES	242.2	L	60	42000	4000	TERMINAL	

Figura 43: Circuitos de espera en IPAS



Cabe destacar que crear un circuito de espera en un punto de un procedimiento no involucra directamente que una aeronave realizando dicho procedimiento vaya a introducirse en el circuito de espera. Más adelante, en la creación de trayectorias se observará cómo cada aeronave puede seguir diferentes caminos aun recorriendo el mismo procedimiento.

### 2.3.9.- Volúmenes

Para la creación de volúmenes se recomienda encarecidamente que se hayan introducido todos los puntos necesarios antes de comenzar, los definidos como puntos OUTL.

Un volumen es la unidad mínima de espacio aéreo contenido en un sector, es por eso que será necesario conocer la forma de los diferentes sectores y sus volúmenes para conocer los puntos que los delimitan. También es importante saber qué configuración tendrá el espacio aéreo, ya que el número de sectores y la forma de estos puede variar según la época del año o del tráfico del espacio aéreo ese día. Una buena fuente de datos es la base de datos DDR de EUROCONTROL si el escenario a simular se encuentra en Europa.

Una vez se tiene todos los puntos OUTL, se puede proceder a la creación de los volúmenes. Al igual que el resto de elementos, los volúmenes pueden ser introducidos mediante la importación o mediante su introducción manual. Para ver la forma del archivo .csv e importar correctamente los volúmenes se recomienda crear primero uno de manera manual, exportarlo y abrirlo en la máquina física. Tras esto, ya se podrá crear un archivo .csv con la forma correcta de los volúmenes para su importación.

Del mismo modo, su introducción manual se hará con la herramienta “Airspace”. Una vez está abierta:

1. Seleccionar la ventana de elementos “VOLUMES”.
2. Seleccionar “Add a new record”
3. Introducir el nombre del volumen.
4. Seleccionar el tipo de volumen.
5. Introducir el límite inferior de vuelo FL del volumen (100xfeet).
6. Introducir el límite superior de vuelo FL del volumen (100xfeet).
7. Introducir el radio del cilindro, en caso de haber elegido tipo cilíndrico (NM).

Ahora entramos en la fase de introducción de los puntos que definen el polígono del volumen.

8. Seleccionar el botón “Add” al lado de “POINTS OF VOLUMES”
9. Seleccionar el nombre del primer punto del volumen. No importa en qué orden se introduzcan los puntos y no es necesario repetir al comienzo y al final el mismo punto, se unen automáticamente.
10. Seleccionar el botón “Add” o hacer “Copy” del elemento recién creado.
11. Repetir los pasos 9 y 10 con los siguientes puntos del volumen
12. Seleccionar “Validate” para validar los puntos introducidos.
13. Seleccionar “OK” y “commit database”.



Todo sector está compuesto por volúmenes, los elementos que se explican en este apartado. Estos volúmenes hacen la función de “piezas tridimensionales” que encajan entre sí formando un sector. Este es el ejemplo anterior con los volúmenes contenidos en los sectores.

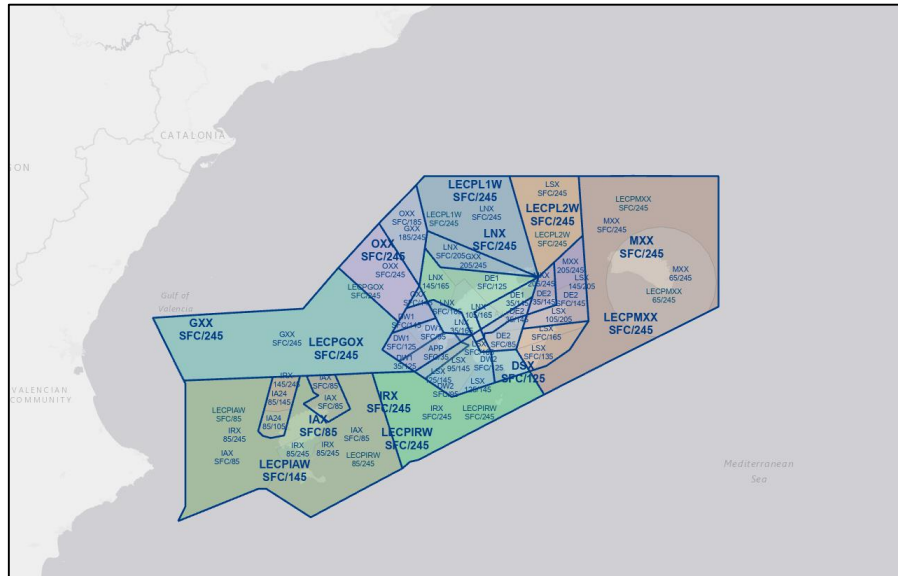


Figura 46: Volúmenes TMA de Palma

Hay algo que es importante conocer antes de crear los sectores: la forma general que tiene la simulación en ESCAPE. Como se menciona al comienzo del manual, la simulación tiene forma rectangular en proyección vertical y normalmente los espacios que se quieren simular no tienen dicha forma. Por lo tanto, para la correcta simulación del espacio aéreo será necesario crear una serie de volúmenes de alimentación o FEED, los cuales rellenarán el espacio aéreo vacío entre el espacio que se quiere simular y los límites del rectángulo de simulación. Esto es un ejemplo de cómo serían los volúmenes FEED en el espacio aéreo anterior, el centro de control de Palma de Mallorca:

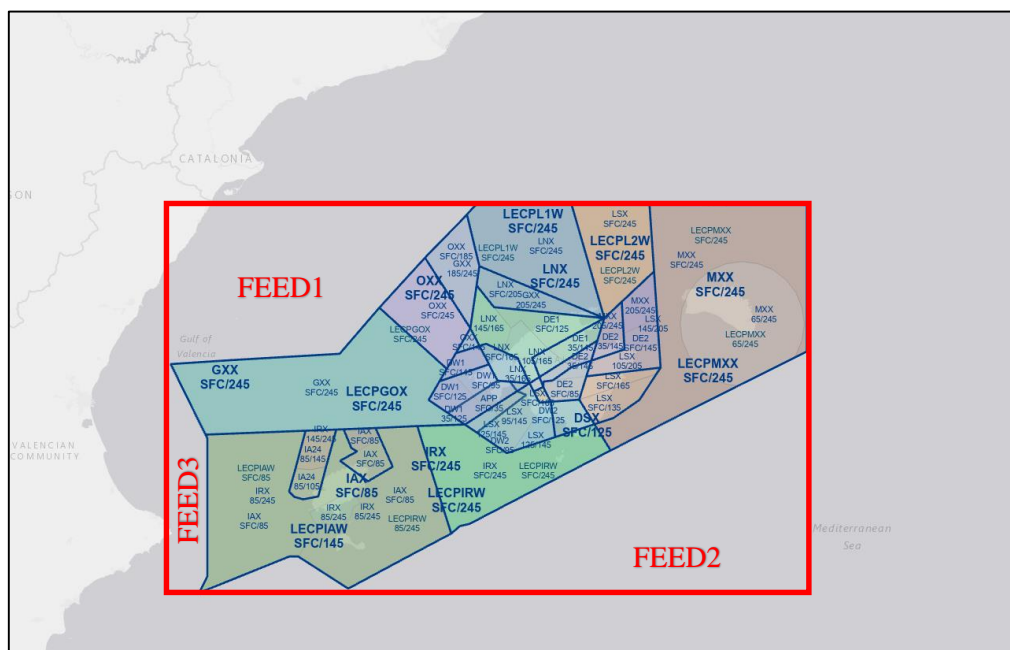


Figura 47: Ejemplo TMA de Palma con sectores de alimentación





Al igual que el resto de elementos, los centros de control pueden ser importados o añadidos manualmente. Para importarlos se recomienda el mismo procedimiento que se ha mencionado en apartados anteriores.

Para la creación manual de los centros de control ATC se seguirá una serie de pasos dentro de la herramienta “Airspace” de IPAS:

1. Seleccionar la ventana de elementos “ATC CENTRES”.
2. Seleccionar “Add a new record”
3. Introducir el nombre del centro de control.
4. Seleccionar “OK”.
5. Repetir los pasos 2,3 y 4 para crear el centro ATC que irá enlazado a los sectores FEED.
6. Seleccionar “commit database”.

The screenshot shows a dialog box titled "Edit a record" for "ATC CENTRES". The dialog contains the following fields:

ATC centre name	ATC centre type	Description	Datalink equipment	Time/bound. crossing
PALMAACC	SIMULATED	CENTROL DE CONTROL DE PALMA	N	20

Below the main fields is a "Maintained Com." field with the value "0". At the bottom of the dialog, there are buttons for "Up", "Down", "Refresh", "Copy", "OK", and "Cancel". The "OK" button is highlighted with a red box.

Figura 50: Centros ATC en IPAS

Como se ha mencionado, lo más normal es que existan dos centros de control, uno para los sectores de control y otro para los sectores de alimentación (FEED).

### 2.3.11.- Arquitectura: Autopilotos, controladores y centro de software

De igual manera que los centros de control ATC, la arquitectura de controladores y autopilotos de la simulación debe de ser introducida antes de la creación de los sectores. La arquitectura definirá la cantidad de autopilotos y de controladores de la simulación, además del tipo de estos últimos.

Además, se aprovechará para la creación del centro de software, que a su vez estará enlazado a los centros de control.

Para comenzar con la arquitectura, en este caso, seleccionaremos la herramienta “Architecture” en vez de la herramienta “Airspace”, como hasta ahora. Una vez dentro, se procederá primero a la creación de los autopilotos o “Air working position”:

1. Seleccionar el botón “Jump to” en la misma línea que “Architecture” en IPAS.
2. Seleccionar la ventana “AIR WORKING POSITION”
3. Seleccionar “Add a new record”
4. Introducir el nombre del autopiloto (normalmente 1, 2, 3, ...).
5. Seleccionar “OK”.
6. Repetir los pasos 3,4 y 5 para crear tantos autopilotos como sectores de control existan.
7. Seleccionar “commit database”.

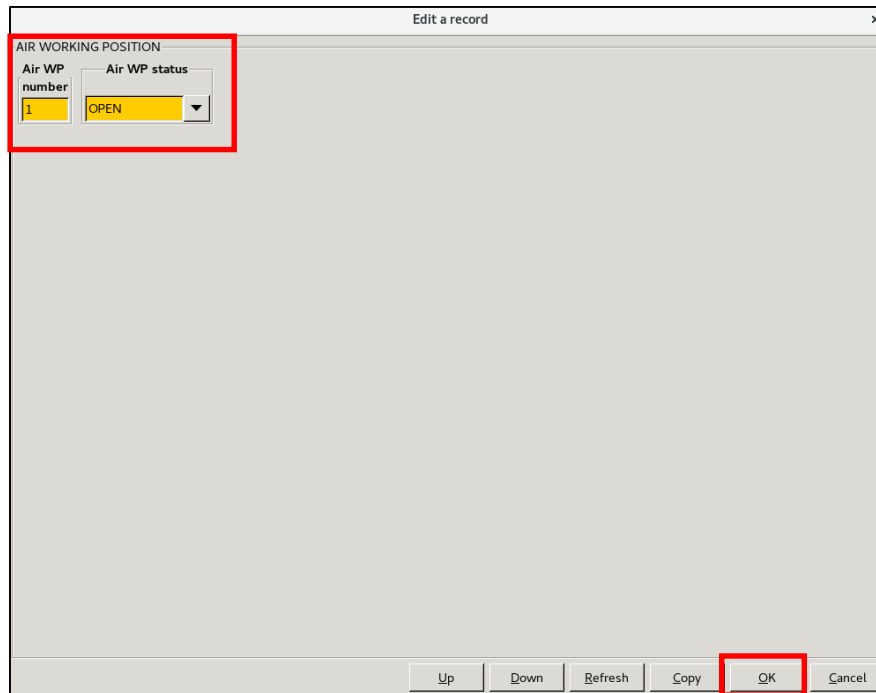


Figura 51: Autopilotos en IPAS

Como se ha mencionado en el paso 6, será necesario crear tantos autopilotos como sectores de control existan en el espacio aéreo que se quiera simular. En caso de que se quiera simular tanto FIR como UIR, también se deberá crear un autopiloto para el sector enlazado al volumen UIR. Los sectores FEED no necesitan de la creación de “air working position”.

El siguiente paso consistirá en la creación de los controladores de la simulación. Antes de la introducción de estos, es importante mencionar que ESCAPE clasifica los controladores en distintos tipos según su función:

ASSISTANT	Ayudante de controlador. No exactamente cumple con las condiciones de controlador. Su trabajo se basa en crear fichas, manejar el panel de luces, ...
EXECUTIVE	Controlador que habla en frecuencia y da instrucciones a las aeronaves
FEED	Controlador externo al espacio sectorizado, encargado de los sectores de alimentación

FEED_HYBRID	Controlador con las mismas características que el anterior, pero además ejerce de autopiloto del sector
FLOW	Puesto no operativo encargado de la gestión de la afluencia de tráfico
PLANNING	Controlador que prepara la gestión de los vuelos, coordina con los colaterales por adelantado, ...
SUPERVISOR	Puesto jerárquico encargado de vigilar los sectores, la apertura y cierre de estos y los cambios de configuraciones del espacio aéreo
OTHER	Otra posición no reconocida entre los anteriores, como un controlador de torre

Figura 52: Tabla de tipos de controlador en ESCAPE

Una vez conocidos los tipos de controladores, se procederá a la introducción manual de estos. Dado que no es una tarea larga, se recomienda introducirlos manualmente en vez de importarlos, pero al igual que el resto de elementos, podrían ser importados con el mismo procedimiento.

Del mismo modo que los autopilotos, se accederá a la herramienta “Architecture” de IPAS. Una vez allí:

1. Seleccionar la ventana “CONTROLLERS”
2. Seleccionar “Add a new record”
3. Introducir el nombre del controlador.
4. Seleccionar el tipo de controlador “MILITARY” o “CIVIL”.
5. Seleccionar la función del controlador entre las antes expuestas.
6. Seleccionar “OK”
7. Repetir los pasos 2, 3, 4, 5 y 6 para crear tantos autopilotos como sectores de control existan.
8. Seleccionar “commit database”.

The screenshot shows a window titled "Edit a record" with a sub-header "CONTROLLERS". It contains a table with the following data:

Controller number	Type	Controller function	Measured ?	ERGO position
1	CIVIL	EXECUTIVE	N	

At the bottom of the window, there are buttons for "Up", "Down", "Refresh", "Copy", "OK", and "Cancel". The "OK" button is highlighted with a red box.

Figura 53: Controladores en IPAS



Normalmente suele existir un controlador EXECUTIVE y otro PLANNING por cada sector del espacio controlado. También debe de haber un controlador de cada tipo para el sector UIR en el caso de su simulación. Para tener un buen orden en la creación de datos, lo mejor es nombrar los controladores EXECUTIVE como 1, 2, 3, ..., y los controladores PLANNING como 11, 12, 13, ... Por otra parte, también se deberá de crear un controlador FEED\_HYBRID para cada sector de alimentación. En este caso, solo es necesario un controlador por sector FEED. Para seguir con el orden, se pueden nombrar como 21, 22, 23, ...

Por último, lo siguiente será la creación de un centro de software y de su área de cobertura. Primero, se creará el área de cobertura, la zona que cubrirían los centros de control enlazados al centro de software, que se creará posteriormente.

Para la introducción manual del área de cobertura se usará la herramienta "Architecture" en IPAS. Una vez dentro:

1. Seleccionar la ventana "SURVEILLANCE COVERAGES"
2. Seleccionar "Add a new record"
3. Introducir el nombre del área de cobertura (normalmente "SCB").
4. Seleccionar el tipo de servicio dentro del área, en "Inside" (normalmente "RADAR").
5. Seleccionar el tipo de servicio fuera del área, en "Outside" (normalmente "RADAR").

Ahora se procederá a la introducción del volumen que representa el área de cobertura. Para ello:

6. Seleccionar el botón "Add", junto "VOLUMES".
7. Seleccionar el volumen compuesto por los puntos duplicados SE1, SE2, SE3 y SE4. En el caso del manual, se denominará volumen SWCA.
8. Introducir la ratio de error, en porcentaje, entre la posición real y la detectada (normalmente "1.0").
9. Introducir la probabilidad de detección si hay una aeronave en el área de cobertura, mínimo 0 y máximo 1 (normalmente 1.0).
10. Seleccionar el botón "Validate" (si se ha hecho correctamente, aparecerán los puntos del volumen introducido en la ventana de la derecha).
11. Seleccionar "OK"
12. Seleccionar "commit database".

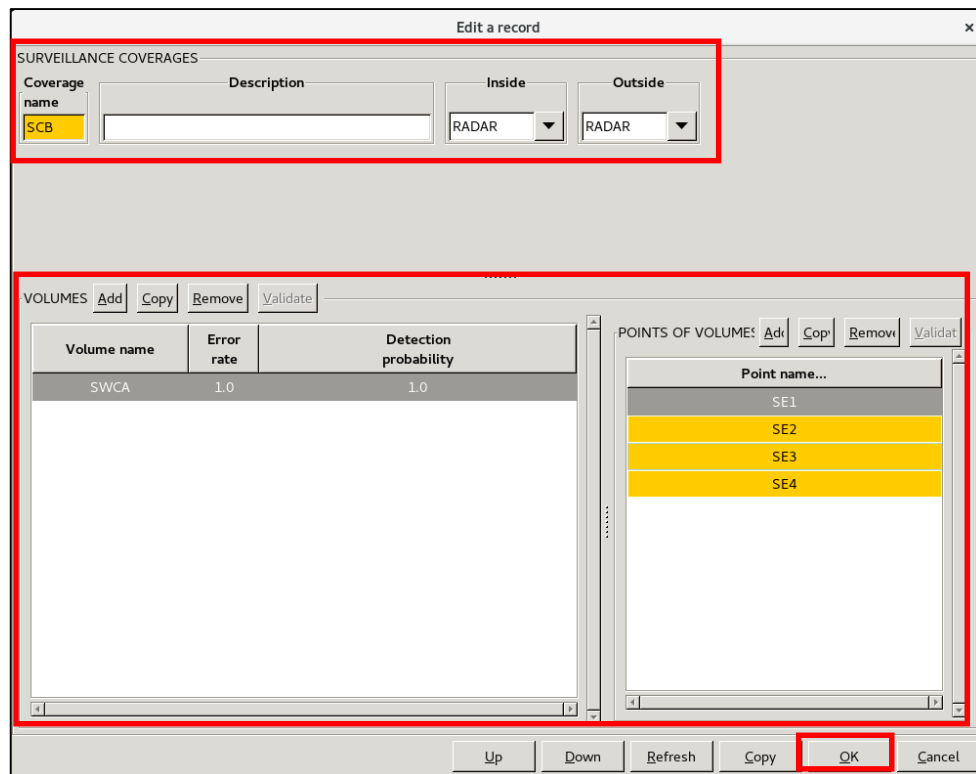


Figura 54: Área de cobertura IPAS

Una vez creada el área de cobertura, se procederá a la creación del centro de software, dentro de la herramienta “Architecture”. Una vez allí:

1. Seleccionar la ventana “SOFTWARE CENTRES”
2. Seleccionar “Add a new record”
3. Introducir el número del centro de software (1, 2, ...).
4. Seleccionar el volumen introducido en el área de cobertura, en este caso SWCA.
5. Seleccionar el área de cobertura en “Coverage area”, en este caso SCB.

Ahora se procederá a la introducción de los centros ATC enlazados al centro de software, los cuales deben de haber sido previamente creados. Para ello:

6. Seleccionar el botón “Add”, junto a “ATC CENTRES”.
7. Seleccionar el centro ATC enlazado a los sectores de control.
8. Repetir los pasos 6 y 7 para la introducción del centro ATC enlazado a los sectores de alimentación.
9. Seleccionar el botón “OK” y “commit database”.

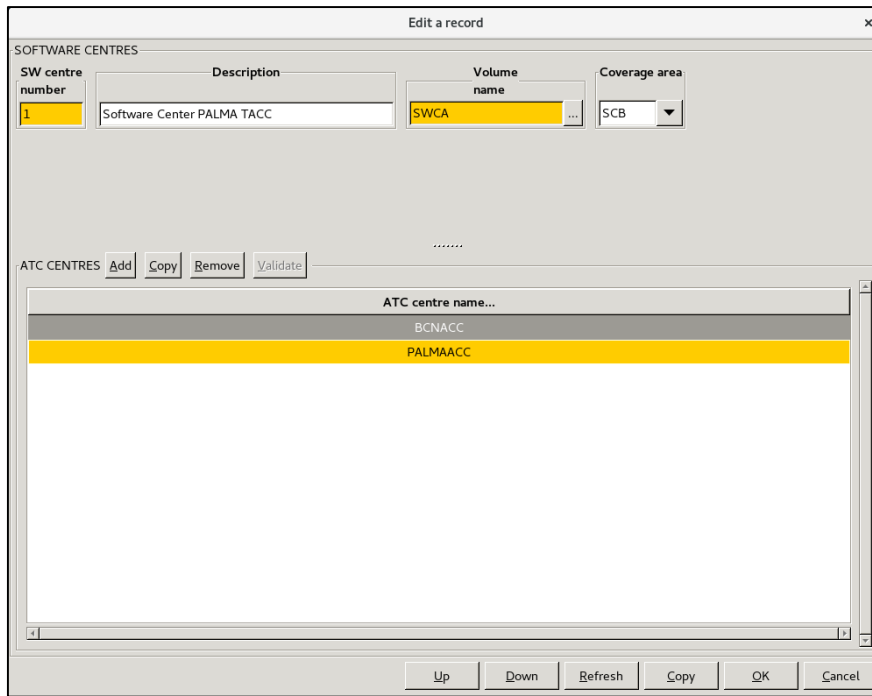


Figura 55: Ejemplo centro de software

Una vez introducidos estos datos, será suficiente para comenzar con la creación de los sectores.

### 2.3.12.- Sectores

Una vez creados los centros de control y la arquitectura de la simulación, se procederá a introducir los sectores de control y de alimentación. Para ello, se deberá de haber creado correctamente tanto los volúmenes, que irán incluidos en los sectores, los centros de ATC, que irán enlazados a los mismos, los controladores, encargados del control de los sectores, los autopilotos, el área de cobertura y el centro de software.

Al igual que el resto de elementos, la creación de los sectores puede hacerse mediante importación, realizando el mismo procedimiento ya explicado, o mediante introducción manual. Debido a la poca cantidad de estos normalmente, es recomendable la introducción manual. Antes de esta, será importante conocer las frecuencias de radio de cada uno de los sectores. En caso de no tenerlas, pueden introducirse otras aleatorias, pero se recomiendan las reales para mayor orden en la simulación.

Para la introducción manual de los sectores, se procederá de nuevo a la herramienta “Airspace” de IPAS:

1. Seleccionar la ventana de elementos “SECTORS”.
2. Seleccionar “Add a new record”
3. Introducir el nombre del sector.
4. Seleccionar el centro ATC al que pertenece el sector, dependiendo si el sector en creación es de control o FEED.

5. Seleccionar el tipo de control dependiendo de la fase de vuelo de las aeronaves a la que vaya dedicado ese sector (APPROACH, EN ROUTE o TOWER).
6. Seleccionar la clase de sector (CIVIL o MILITARY).
7. Seleccionar la región de vuelo en la que está el sector (FIR o UIR).
8. Introducir la frecuencia del sector en MHz.
9. Introducir el nombre completo del sector (opcional).

Ahora se procederá a enlazar el sector con los controladores encargados del mismo:

10. Seleccionar el botón “Add”, junto a “CONTROLLERS”.
11. Seleccionar el número de controlador EXECUTIVE del sector (1, 2, ...).
12. Introducir el nombre de unidad asignada a ese controlador “Unit name”. En cada caso, deberá de ser IGUAL al nombre del sector en proceso de creación.
13. Repetir los pasos 10, 11 y 12 en el caso de que sea un sector de control para introducir el otro controlador PLANNING. En el caso de que sea un sector de alimentación, con el enlace con el controlador FEED\_HYBRID respectivo será suficiente.
14. Seleccionar el botón “Validate”.

Después se procederá a enlazar el sector con el autopiloto encargado del mismo (en caso de ser un sector de control).

15. Seleccionar el botón “Add”, junto a “AIR WP”.
16. Seleccionar el número de autopiloto (1, 2, ...).
17. Seleccionar el botón “Validate”.

Por último, se procederá a enlazar el sector con los volúmenes que componen el mismo, los cuales han sido creados anteriormente:

18. Seleccionar el botón “Add”, junto a “VOLUMES”.
19. Seleccionar el nombre del volumen que pertenece al sector en creación.
20. Repetir los pasos 18 y 19 con el resto de volúmenes del sector o seleccionar el botón “Copy” y cambiar el nombre del volumen copiado.
21. Seleccionar el botón “Validate”. Si todo es correcto, los puntos de cada volumen aparecerán en la ventana inferior central.
22. Seleccionar el botón “OK”.
23. Repetir los pasos 1 a 22 para la introducción del resto de volúmenes de control de la simulación, incluido un sector UIR para el volumen UIR y los sectores de alimentación. Es importante recordar que estos últimos no tienen autopiloto enlazado.
24. Seleccionar el botón “commit database”.

The screenshot shows the 'Edit a record' window in IPAS. The 'SECTORS' section is highlighted with a red box and contains the following data:

Sector name	ATC centre	Control kind	Class	flight region	Frequency	First virtual frequency	Second virtual frequency	Paper
APP	PALMAACC	APPROACH	CIVIL	BOTH	118.955			Y

The 'Full name' field contains 'PALMA FINAL APPROACH'. The 'CONTROLLERS' section shows a table with Controller number and Unit name:

Controller number...	Unit name
1	APP
11	APP

The 'AIR WP' section shows Air WP number: 1. The 'VOLUMES' section shows a list of Volume names: 802LEA, 806LEA, 809LEA, 810LEA, 811LEA. The 'POINTS OF VOLUME' section shows a list of Point names: P0001, P0002, P0003. The 'CONDITIONS' section shows a list of Condition names. The 'OK' button is highlighted.

Figura 56: Sectores en IPAS

Este es un ejemplo de un sector de control. En caso de ser un sector de alimentación no habría ningún número en la ventana de “AIR WP”. Es importante que no debe haber ningún tipo de espacio sin controlar entre sectores en ninguna de las 3 dimensiones. En caso de existir, estos saldrán como errores y deberán de ser solucionados.

No puede haber ninguna parte del espacio aéreo sin controlar.

### 2.3.13.- Aerovías

Una aerovía es una ruta designada en el espacio aéreo. Estas son establecidas entre varios elementos de ayuda a la navegación como los radiofaros omnidireccionales VHF (VOR), radiofaros no direccionales (NDB) e intersecciones. Estos tipos de elementos también pueden ser introducidos en GEOPOINTS, seleccionando el tipo e introduciendo las frecuencias, en caso de ser necesarias. Las aerovías son componentes básicos de los planes de vuelo de los aviones.

Una vez más, al igual que el resto de elementos, las aerovías pueden ser creadas de dos maneras: mediante importación y mediante introducción manual. Para la importación se debe seguir el procedimiento ya explicado con anterioridad.

La introducción manual se efectuará desde la herramienta “Airspace” en IPAS. Una vez en ella:

1. Seleccionar la ventana de elementos “AIRWAYS”.
2. Seleccionar “Add a new record”
3. Introducir el nombre de la aerovía

4. Seleccionar el tipo de aerovía (normalmente LOWER o UPPER, dependiendo de si se encuentra en espacio FIR o UIR).
5. Introducir la distancia horizontal de la aerovía “Width” en NM (normalmente 10 NM).
6. Introducir la distancia vertical de la aerovía “Height” en NM (Normalmente 2 NM).

Ahora se procederá a la introducción de los puntos que conforman la aerovía:

7. Seleccionar el botón “Add”, junto a “AIRWAY SECTIONS”.
8. Introducir el nombre del punto perteneciente a la aerovía.
9. Repetir los pasos 7 y 8 para introducir el resto de puntos de la aerovía.
10. Seleccionar el botón “Validate” y el botón “OK”.
11. Seleccionar “commit database”

The screenshot shows the 'Edit a record' dialog box in IPAS. The 'AIRWAYS' section is highlighted with a red box and contains the following fields:

Airway name	Airway type	Width	Height	Paper	Description
A25	LOWER	10	2	Y	

Below the 'AIRWAYS' section, the 'AIRWAY SECTIONS' section is also highlighted with a red box. It contains a table with the following data:

Point name...	Sub airway	Visibility
LUNIK		Y
SISMO		Y

At the bottom of the dialog box, the 'OK' button is highlighted with a red box.

Figura 57: Aerovías en IPAS

Un espacio aéreo FIR y UIR puede estar conformado por aerovías tipo LOWER y UPPER independientemente. La altitud de estas no es necesaria que sea especificada, ya que eso dependerá de la altitud de la aeronave contemplada en su plan de vuelo.

Sin embargo, sí que hay una diferencia a tener en cuenta. Las aerovías LOWER del espacio FIR suelen empezar o acabar en un procedimiento SID o STAR respectivamente. Si este es el caso, la aerovía deberá de empezar por el último punto del procedimiento SID o acabar en el primer punto del procedimiento STAR. Por lo tanto, habrá un punto que estará tanto en la aerovía como en el procedimiento ligado a ella.

En el caso de las aerovías UPPER del espacio UIR no es necesario, ya que estas cruzan el espacio controlado por encima y no tienen como origen o destino ninguno de los aeropuertos de la simulación.

### 2.3.14.- Áreas STCA

El STCA (Short-term Conflict Alert) es un sistema de alerta automatizado para los controladores de tránsito aéreo (ATCO). Es una red de seguridad en tierra destinada a asistir al controlador en la prevención de colisiones entre aeronaves al generar, de manera oportuna, una alerta de una infracción potencial o real de las mínimas de separación. En ESCPAE se podrá personalizar los valores límites que definan qué debe de ser una alerta y qué no.

Al igual que el resto de elementos, las áreas STCA pueden ser importadas mediante el mismo procedimiento ya mencionado. De igual manera, su creación también puede llevarse a cabo de manera manual.

La introducción manual de las áreas STCA se efectuará a través de la herramienta “Architecture” en IPAS. Una vez dentro de la arquitectura, se procederá en este orden:

1. Seleccionar la ventana de elementos “STCA AREAS”.
2. Seleccionar “Add a new record”
3. Introducir el nombre del área STCA.
4. Introducir el límite horizontal mínimo en NM a partir del cual, si la distancia entre aeronaves es menor, saltará la alerta.
5. Introducir el límite vertical mínimo (RVSM, Reduced Vertical Separation Minima) en pies (ft) a partir del cual, si la distancia entre aeronaves es menor, saltará la alerta.
6. Introducir el límite vertical mínimo (Non RVSM, Non Reduced Vertical Separation Minima) en pies (ft) a partir de la cual, si la distancia entre aeronaves es menor, saltará la alerta.
7. Introducir “lookahead” en segundos (normalmente, 120s).

Ahora se procederá a la introducción de los volúmenes que compondrán el área STCA con las condiciones introducidas:

8. Seleccionar el botón “Add”, junto a “VOLUMES”.
9. Introducir el nombre del volumen perteneciente al área STCA.
10. Repetir los pasos 8 y 9 para introducir el resto de volúmenes del área STCA.
11. Seleccionar el botón “Validate”. Los puntos pertenecientes a los volúmenes introducidos deben de aparecer en la ventana de la derecha.
12. Seleccionar el botón “OK” y “commit database”.

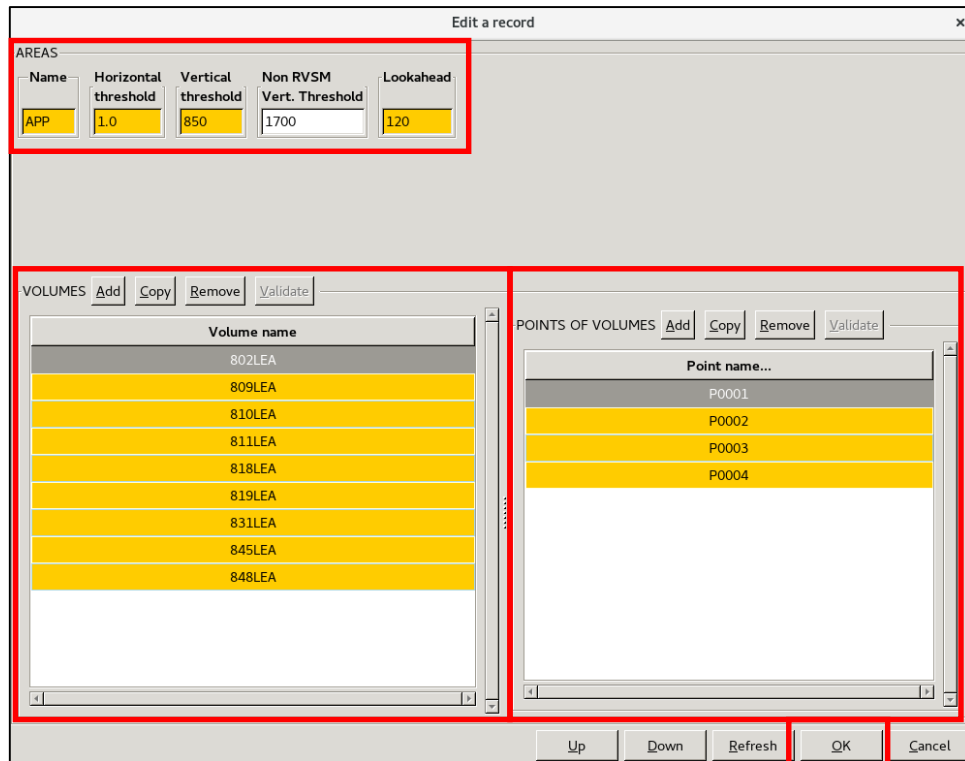


Figura 58: Áreas STCA en IPAS

Normalmente, las características que definen un área STCA son diferentes dependiendo del sector. En los sectores de aproximación estos límites horizontales y verticales son menores que en sectores de control normales, ya que las aeronaves suelen estar más próximas inevitablemente en el acercamiento al aeropuerto. Por lo que la mejor manera para la introducción de estas áreas es la creación de una de ellas por cada sector de control introducido en la simulación, dándoles el mismo nombre que el propio sector. Dependiendo del tipo de sector, los límites variarán según la proximidad habitual de las aeronaves en el mismo.

Una vez hecho esto, a excepción de las trayectorias y algunos volúmenes para zonas específicas que aún quedan por definir, los elementos de “Airspace” deberían de ser correctos y prácticamente suficientes para una simulación.

Como se dice el principio del manual, es recomendable usar las herramientas CHECK y ART VISU con regularidad para comprobar los datos introducidos.



## 2.4.- TRÁFICO: Trayectorias y planes de vuelo

### 2.4.1.- Introducción

El tráfico es una parte fundamental de la simulación, ya que es aquello que se va a proyectar y analizar. Hasta ahora, todos los datos introducidos hacen referencia al entorno, al lugar donde se va a realizar la simulación, pero el tráfico representa el objeto a evaluar dentro de ese entorno. Es por ello que la introducción del tráfico es clave a la hora de realizar una simulación.

En ESCAPE se entiende por tráfico a las aeronaves que aparecerán en el espacio aéreo a simular. La introducción de cada una de ellas contiene gran cantidad de atributos que determinarán la simulación, como la trayectoria, el modelo de la aeronave, velocidades, consumo, etc. Las trayectorias son una parte muy relevante en la creación del tráfico, es por ello que se recomienda encarecidamente su creación de manera aislada antes de la del propio tráfico, para facilitar así la gestión e introducción de datos.

### 2.4.2.- Trayectorias

Hay que pensar en las trayectorias como los caminos individuales que seguirán cada una de las aeronaves de la simulación, por lo que antes de la construcción de cualquier tipo de elemento, se debe tener claro cuáles serán las aeronaves que aparecerán en el espacio aéreo simulado. También es importante mantener un orden, por ello, se recomienda seguir un código para entender las diferentes trayectorias y sus tipos. Un ejemplo de codificación es esta:

- PUNTO\_PUNTO: En el caso de que una aeronave sobrevuele el espacio aéreo sin tener como origen o destino uno de los aeropuertos simulados tendrá una trayectoria de punto a punto, siguiendo únicamente una o varias aerovías, pero sin realizar ningún tipo de procedimiento de aproximación o salida.
- PUNTO\_STAR: En el caso de que una aeronave aparezca en el espacio aéreo y vaya a realizar un aterrizaje en alguno de los aeropuertos simulados tendrá una trayectoria de punto a procedimiento de llegada.
- SID\_PUNTO: En el caso de que una aeronave despegue de alguno de los aeropuertos simulados y desaparezca del espacio aéreo tendrá una trayectoria de procedimiento de salida a punto.

Con esta codificación, se puede realizar una clasificación de las trayectorias y, por lo tanto, una agrupación de datos. Se recomienda seguir la codificación en los nombres de las trayectorias para que los datos sean más claros.

Las trayectorias, al igual que el resto de elementos, pueden ser importadas. Para ello, se recomienda de igual manera crear una manualmente, exportarla para ver su forma, copiar dicha forma e importar los datos de nuevo a IPAS.

La introducción manual de las trayectorias se realiza mediante la herramienta “Airspace” en IPAS. Una vez en ella:

1. Seleccionar la ventana de elementos “PATHS”.
2. Seleccionar “Add a new record”
3. Introducir el nombre de la trayectoria. Seguir una codificación ayudará en la comprensión de datos.

4. Seleccionar el procedimiento de salida SID de la trayectoria en caso de seguir uno. Si no, dejar en blanco.
5. Seleccionar el procedimiento de llegada STAR de la trayectoria en caso de seguir uno. Si no, dejar en blanco.

Ahora se procederá a la introducción de los puntos que seguirá la aeronave en su trayectoria. Es importante destacar que, si la aeronave realiza un procedimiento de salida, la serie de puntos deberá de comenzar por el último punto del procedimiento SID. En el caso de que la aeronave realice un procedimiento de llegada, la serie de puntos deberá finalizar con el primer punto del procedimiento STAR. Si la aeronave solo sobrevuela el espacio aéreo, deberá comenzar por el punto por el que aparece y terminar por el que desaparece, siguiendo su orden.

6. Seleccionar el botón “Add”, junto a “PATH SECTION”.
7. Introducir el nombre del punto perteneciente a la trayectoria.
8. Repetir los pasos 6 y 7 para el resto de puntos de la trayectoria.
9. Seleccionar el botón “Validate”.
10. Seleccionar el botón “OK” y “commit database”.

The screenshot shows a software interface titled "Edit a record" with a "PATHS" section. In this section, there are three input fields: "Path name" containing "BCN\_POS1P4", "SID name" which is empty, and "STAR name" containing "POS1P4". Below this is a "PATH SECTION" section with a table and several buttons. The table has columns for "Point name...", "Airway name", "sub flight path", "Latitude", "Longitude", and "R/B". The table contains four rows: "BCN", "LORES", "POSBA", and "POS". Above the table are buttons for "Add", "Copy", "Remove", and "Validate". At the bottom of the window are buttons for "Up", "Down", "Refresh", "Copy", "OK", and "Cancel". The "OK" button is highlighted with a red box.

Figura 59: Trayectorias en IPAS

Este es un ejemplo de una aeronave que sigue una trayectoria de punto a procedimiento de llegada. Entra en el espacio aéreo en el punto BCN, sigue los puntos LORES, POSBA y POS, coincidiendo este último con el primer punto del procedimiento POS1P4.

Este proceso se debe llevar a cabo con las trayectorias de todas las aeronaves que se pretendan simular.

## 2.4.3.- Tráfico

Una vez introducidas todas las trayectorias de las aeronaves que aparecerán en la simulación, es momento de comenzar con la creación del tráfico. El tráfico consistirá en la definición de cada aeronave individualmente con una serie de atributos clave para la correcta simulación del mismo. Estos atributos que se deberán conocer antes de la introducción del tráfico son los siguientes:

CALLSIGN	Es el código utilizado por las aerolíneas para su identificación en las comunicaciones por radio, horarios, billetes y recibos de carga
DEFINED FOR	Sirva para asignar si una aeronave hace un sobrevuelo (AIR), un movimiento en pista (GRD) o ambos (BOTH), para aeronaves que despeguen o aterricen en el espacio aéreo
FLIGHT PATH	Es la trayectoria que sigue la aeronave
START TIME	Hora a la que la aeronave aparece en la simulación (hh:mm:ss)
ADEP	Aeropuerto de origen o salida
ADES	Aeropuerto de destino o llegada
REAL A/C	Aeronave. Se elige dentro de la lista de aeronaves definidas en el modelo BADA
A/C MODEL	Modelo concreto de la aeronave seleccionada. Una vez elegida la aeronave este campo se rellena automáticamente
BADA 4 VERSION	Especificación de la version BADA 4 del modelo de la aeronave. Una vez elegida la aeronave este campo se rellena automáticamente
FLIGHT TYPE	Tipo de vuelo según su propósito: <ul style="list-style-type: none"> <li>• S para vuelos planificados, como los comerciales.</li> <li>• N para vuelos no planificados</li> <li>• G para aviación general</li> <li>• M para vuelos militares</li> <li>• X para otras categorías no especificadas</li> </ul>
START LEVEL	Nivel de vuelo al que comienza la aeronave en la simulación. En caso de despegar de un aeropuerto de la simulación se debe dejar en blanco
GOTO LEVEL	Nivel de vuelo al que se estará dirigiendo la aeronave cuando entre dentro del espacio aéreo. En caso de despegar de un aeropuerto de la simulación se debe dejar en blanco
RANGE	Rango que mide la distancia entre el aeropuerto de origen y destino. Para un país de extensión normal, se considera: <ul style="list-style-type: none"> <li>• S para vuelos nacionales</li> <li>• M para vuelos internacional a países cercanos</li> <li>• L para vuelos internacionales a países alejados</li> </ul>

SSR	Second Surveillance Radar. Hace referencia al modo del transpondedor de la aeronave
WTC RECAT EU	Wake turbulence category. Una vez elegida la aeronave se rellena automáticamente
RFL	Requested flight level. Las aeronaves que realizan sobrevuelos suelen mantener el nivel de entrada, aquellas que van a aterrizar suelen usar el nivel FL80 o FL70, para después comenzar sus descensos a través de los procedimientos y las que van a despegar suelen usar el nivel de vuelo de crucero que quieren alcanzar
TAS	True Air Speed. Una vez elegida la aeronave se rellena automáticamente
APPROACH	Modo de aproximación: <ul style="list-style-type: none"> <li>• GBAS</li> <li>• ILS</li> <li>• MLS</li> <li>• VISUAL</li> </ul>
SPEED MODE	Speed mode: <ul style="list-style-type: none"> <li>• AUTO</li> <li>• MANUAL</li> </ul>
HOLD NAME	El nombre del circuito de espera que la aeronave realiza en su trayectoria, en caso de hacer uso de uno
HOLD DURATION	El tiempo estimado que permanece la aeronave en el circuito de espera

Figura 60: Atributos mínimos para la creación de aeronaves

Al igual que el resto de elementos, el tráfico puede ser importado. Para ello, realizar el proceso que se ha descrito anteriormente. De nuevo, también puede introducirse de manera manual, pero para cualquiera de los dos casos, todos los atributos nombrados deben ser conocidos para todas las aeronaves de la simulación antes de proceder a la creación del tráfico.

En este caso, la introducción de datos se hará mediante la herramienta “Traffic” en IPAS. El procedimiento es el siguiente:

1. Seleccionar el botón “Jump to” junto a “Traffic” en IPAS.
2. Seleccionar la ventana de elementos “FLIGHTS”.
3. Seleccionar “Add a new record”.
4. Introducir el callsign de la aeronave.
5. Introducir para qué está definida la aeronave en “Defined for”.
6. Seleccionar la trayectoria de la aeronave en “Flight path”. Se recomienda su creación con anterioridad.
7. Introducir la hora de la simulación a la que aparece la aeronave. Es importante para esto tener en cuenta a qué hora está definida el comienzo de la simulación.
8. Seleccionar el aeropuerto de salida de la aeronave.
9. Seleccionar el aeropuerto de llegada de la aeronave.
10. Seleccionar la aeronave usada en el trayecto dentro de las opciones que ofrece BADA.
11. Seleccionar el tipo de vuelo en “Flight type”.
12. Introducir el “Start level”. Tener en cuenta lo explicado con anterioridad en START LEVEL.

13. Introducir el “Goto level”. Tener en cuenta lo explicado con anterioridad en GOTO LEVEL.
14. Seleccionar el rango en “Range”.
15. Seleccionar el modelo de SSR.
16. Introducir el RFL.
17. Seleccionar el modo de aproximación en “Approach”.
18. Seleccionar el modo de velocidad en “Speed mode”.
19. Seleccionar el circuito de espera que sigue en “Hold name” (en caso de seguir uno).
20. Introducir el tiempo de espera en el circuito en segundos “Hold duration” (en caso de seguir uno).
21. Seleccionar el botón “OK” y “commit database”.

Figura 61: Vuelos en IPAS

Una vez creado correctamente el tráfico, se podrá volver de nuevo al elemento creado con el botón “Modify” y comprobar en las ventanas inferiores si la trayectoria definida para la aeronave es la correcta.

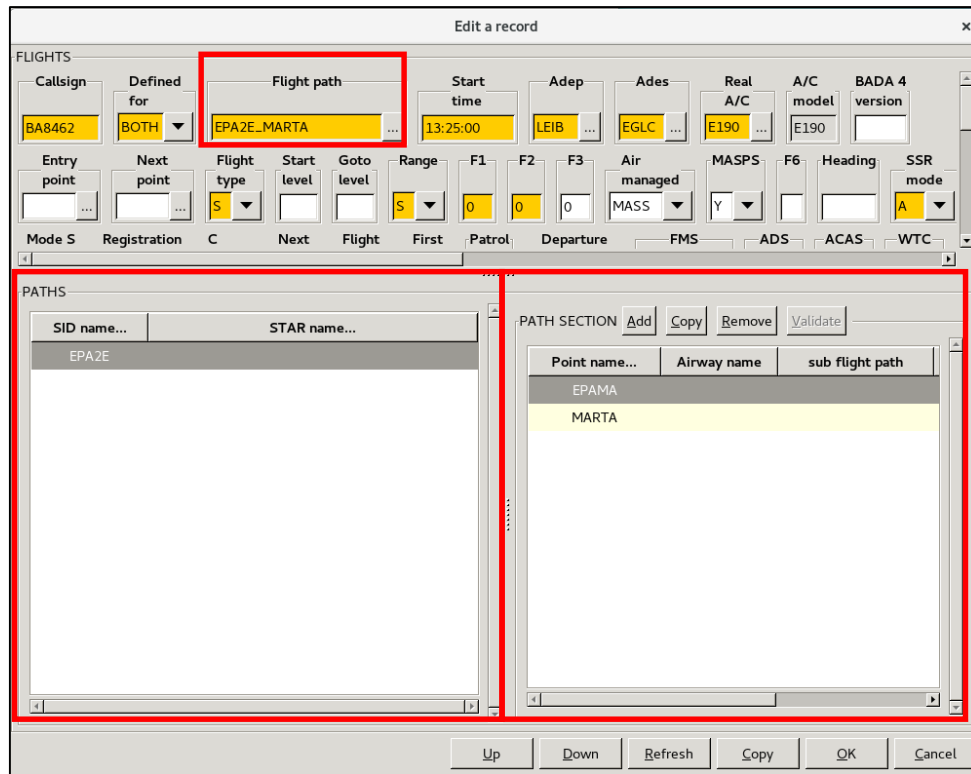


Figura 62: Trayectorias y procedimientos dentro de vuelos

Antes de realizar una comprobación con la herramienta “CHECK” es necesario arreglar un posible error de directorios que ESCAPE trae por defecto.

#### 2.4.4.- Errores de directorio BADA

Cuando se selecciona una aeronave en la creación del tráfico, ESCAPE busca esa aeronave junto con sus características en una base de datos del modelo BADA. Sin embargo, existe un posible error que puede surgir a la hora de validar la simulación, el cual consiste en que IPAS no está encontrando correctamente los directorios donde se encuentra dicha base de datos. Para ello, se debe acceder desde el escritorio de la máquina virtual de IPAS al siguiente directorio: `/home/IPAS_data/rep_bada`

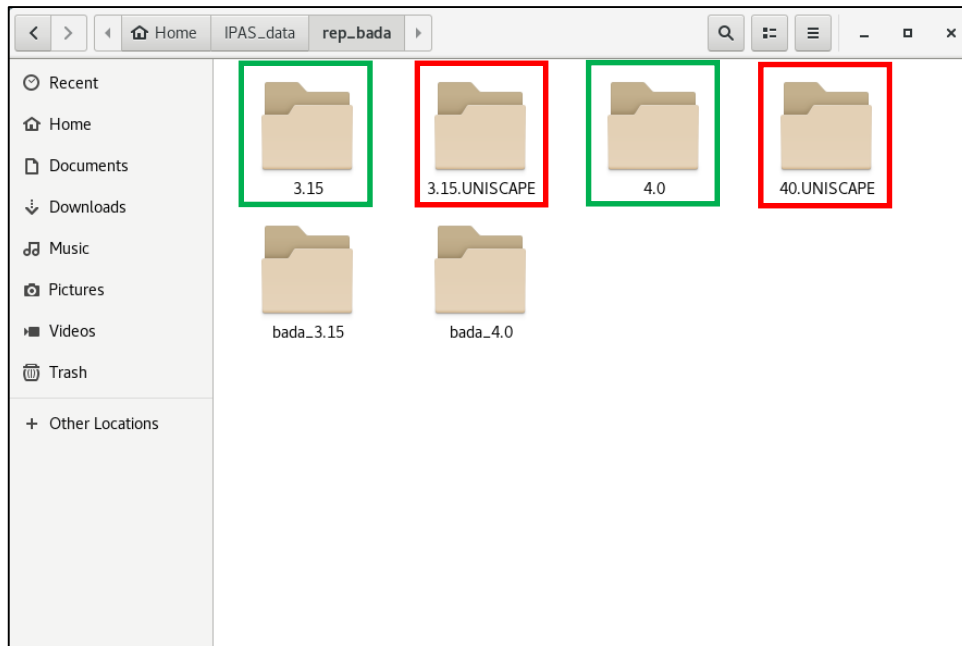


Figura 63: Directorio BADA de cambio de archivos

Una vez en el directorio especificado, será necesario eliminar las carpetas “3.15.UNISCAPE” y “40.UNISCAPE”, los directorios corruptos a los que IPAS está intentando acceder fallidamente. Tras esto, renombrar las carpetas “3.15” y “4.0” a “3.15.UNISCAPE” y a “40.UNISCAPE” respectivamente. De esta manera, IPAS accederá a las nuevas carpetas renombradas y encontrará las aeronaves que está buscando. La forma final del mismo directorio sería:

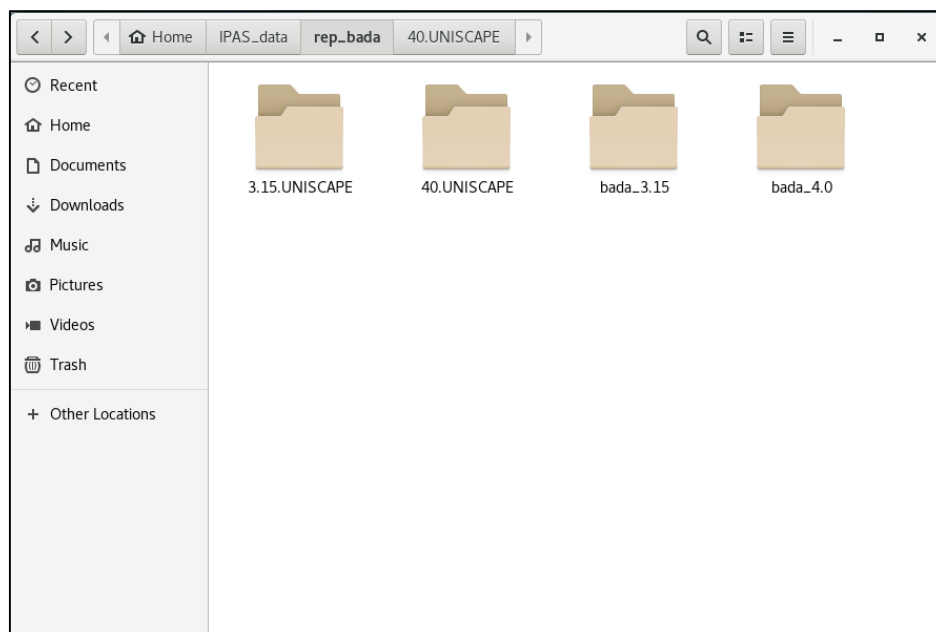


Figura 64: Archivos del directorio BADA modificados

Donde las carpetas “3.15.UNISCAPE” y “40.UNISCAPE” son las renombradas. Se debe tener cuidado con la modificación y eliminación de archivos y directorios, ya que podría entorpecer o interrumpir algún proceso de IPAS.

## 2.5.- Restricciones ATC

### 2.5.1.- Introducción

Una restricción ATC o ATC Constraint permite el cálculo de trayectorias, respetando las restricciones de nivel a través de sectores. Se utilizan para garantizar que el perfil de la aeronave siga la secuencia de sector correcta y muestre los niveles apropiados en la tira de coordinación electrónica (coordination strips” y/o en tiras de papel “paper strips”. De acuerdo con las restricciones de nivel en LoA (Letter of Agreement) entre sectores, se crearán restricciones ATC para cubrir los requisitos de cálculo de trayectoria y acuerdo de coordinación en caso de existir. También se crearán restricciones de ATC de llegada y de salida para los diferentes aeropuertos a simular.

Es importante conocer la jerarquía de las acciones automáticas que toman los controladores de la simulación, ya que ya se han especificado en los procedimientos STAR y SID las diferentes altitudes y velocidades que debería de seguir una aeronave, pero estas indicaciones pueden inferir con las indicaciones de las restricciones ATC. Por lo tanto, es importante conocer que, jerárquicamente: restricciones ATC > procedimientos SID/STAR.

Al igual que el resto de elementos, las restricciones ATC pueden ser importadas. Para ello, seguir el mismo proceso que hasta ahora. Su introducción de manera manual se ejecutará a través de la herramienta “Constraint conf.” en IPAS. Además, como se ha mencionado, se introducirá una restricción de llegada y una de salida por cada aeropuerto del que despeguen y aterricen aeronaves en la simulación.

### 2.5.2.- Restricciones de llegada

Para la introducción de una restricción de llegada:

1. Seleccionar el botón “Jump to” junto a “Constraint conf.” en IPAS.
2. Seleccionar la ventana de elementos “ATC CONSTRAINTS”.
3. Seleccionar “Add a new record”.
4. Introducir el nombre de la restricción ATC.
5. Seleccionar el tipo de nivel al que se referencia la restricción en “Level type”, en este caso RFL.

Ahora se procederá a introducir el punto donde o a partir del cual debe de aplicarse la restricción:

6. Seleccionar el botón “Add”, junto a “REFERENCE POINT”.
7. Seleccionar el “Threshold point” de la pista de llegada perteneciente al aeropuerto donde se aplicará la restricción de llegada, los mismos que se usan en la creación del aeropuerto.
8. Seleccionar el botón “Validate”.

Ahora se procederá a introducir las condiciones en las que se aplicará la restricción:

9. Seleccionar el botón “Add”, junto a “APPLICATION CONDITIONS”.
10. Seleccionar en “Ades...” el aeropuerto de destino al que se debe de aplicar la condición.

Ahora se procederá a introducir la restricción:

11. Seleccionar el botón “Add”, junto a “RESTRICTIONS”.



12. Introducir el primer nivel límite, en este caso FL000, ya que lo que se busca es que cuando la aeronave toque la pista del aeropuerto lo haga a ese nivel.
13. Seleccionar la operación, en este caso “<=”, ya que se lee en dirección opuesta. La restricción se aplica a las aeronaves que tienen un nivel de vuelo superior o igual a FL000.
14. Seleccionar la entidad “N” en “Restrict to identity”, ya que el valor es FL000 y no RFL el valor que se quiere alcanzar.
15. Introducir el valor de restricción FL000 en “Restriction value”.
16. Seleccionar el botón “OK”.
17. Repetir los pasos 3 a 13 para el resto de aeropuertos, en caso de existir más de uno.
18. “Seleccionar el botón “commit database””.

The screenshot shows the 'Edit a record' window for 'ATC CONSTRAINTS'. The 'Constraint name' is 'ARR\_LEPA', 'Level type' is 'RFL', and 'Before /after' is 'Before'. The 'APPLICATION CONDITIONS' section shows a table with columns for 'NOT', 'OR', 'Point name...', 'SID name', 'STAR name', 'Airway name', 'Adep...', 'Ades...', 'ADEP group', and 'ADES group', with 'LEPA' listed under 'Point name...'. The 'RESTRICTIONS' section shows a table with columns for '1st level threshold', 'Op.', '2nd level threshold', 'Op.', 'In/out of level interval', 'Restrict to entity', and 'Restriction value', with values '000', '<=', '000', and 'N' respectively. The 'OK' button is highlighted in red.

Figura 65: Restricciones de llegada en IPAS

De esta manera, se crea la condición para todos los aeropuertos de que siempre que el RFL de una aeronave con dichos aeropuertos de destino sea mayor que FL000, deberá de alcanzar ese nivel en el momento que alcancen el “Threshold point” de la pista de aterrizaje de los mismos.

### 2.5.2.- Restricciones de salida

Lo siguiente consistiría en crear la restricción de los aeropuertos de salida. Esta debe de crearse para todos los aeropuertos de la simulación de la que despeguen aeronaves. Su introducción manual se realiza, al igual que las restricciones anteriores, en la herramienta “Constraint conf.” de IPAS:

1. Seleccionar la ventana de elementos “ATC CONSTRAINTS”.
2. Seleccionar “Add a new record”.
3. Introducir el nombre de la restricción ATC.

4. Seleccionar el tipo de nivel al que se referencia la restricción en “Level type”, en este caso RFL.
5. Seleccionar la condición “AFTER” en “Before/after”, ya que la condición se efectuará después de sobrepasar el punto especificado.
6. Introducir 5.0 NM en “Start dist.” Para que la restricción se aplique cuando la aeronave se encuentre a 5 millas náuticas del punto especificado.

Ahora se procederá a introducir el punto donde o a partir del cual debe de aplicarse la restricción:

7. Seleccionar el botón “Add”, junto a “REFERENCE POINT”.
8. Seleccionar el “Threshold point” de la pista de salida perteneciente al aeropuerto donde se aplicará la restricción de salida, los mismos que se usan en la creación del aeropuerto.
9. Seleccionar el botón “Validate”.

Ahora se procederá a introducir las condiciones en las que se aplicará la restricción:

10. Seleccionar el botón “Add”, junto a “APPLICATION CONDITIONS”.
11. Seleccionar en “Adep...” el aeropuerto de origen al que se debe de aplicar la condición.

Ahora se procederá a introducir la restricción:

12. Seleccionar el botón “Add”, junto a “RESTRICTIONS”.
13. Introducir el primer nivel límite, en este caso FL000, ya que lo que se busca es la aeronave aumente desde FL000 a su nivel RFL tras pasar el punto especificado.
14. Seleccionar la operación, en este caso “<=”, ya que se lee en dirección opuesta. La restricción se aplica a las aeronaves que tienen un nivel de vuelo superior o igual a FL000.
15. Seleccionar la entidad “Y” en “Restrict to identity”, ya que el valor RFL sí es el valor que se quiere alcanzar.
16. Seleccionar el botón “OK”.
17. Repetir los pasos 2 a 16 para el resto de aeropuertos, en caso de existir más de uno.
18. “Seleccionar el botón “commit database”.

The screenshot shows the 'Edit a record' window in IPAS. The window is divided into several sections, each highlighted with a red border:

- ATC CONSTRAINTS:** Contains fields for 'Constraint name' (DEP\_LEIB), 'Level type' (RFL), and 'Before/after' (AFTER). It also has a 'Description' field and a 'Start dist.' field (5,0).
- REFERENCE POIN:** A list box containing 'TH24'.
- APPLICATION CONDITIONS:** A table with columns: NOT, OR, Point name..., SID name, STAR name, Airway name, Adep..., Ades..., ADEP group, ADES group. The table contains one row with the value 'LEIB'.
- RESTRICTIONS:** A table with columns: 1st level threshold, Op., 2nd level threshold, Op., In/out of level interval, Restrict to entity, Restriction value. The table contains one row with values: 000, <=, Y.

At the bottom of the window, there are buttons for 'Up', 'Down', 'Refresh', 'Copy', 'OK', and 'Cancel'. The 'OK' button is highlighted with a red border.

Figura 66: Restricciones de salida en IPAS

De esta manera, se crea la condición para todos los aeropuertos de que siempre que una aeronave se aleje a más de 5 NM del “Threshold point” de la pista de salida del aeropuerto deberá de alcanzar su nivel de vuelo RFL. Hasta entonces, como se menciona anteriormente cuando se habla de las jerarquías, se aplicarán las condiciones de los procedimientos. A partir del punto especificado y la distancia, la aeronave se ceñirá a las restricciones de ATC.

Aunque la jerarquía sea restricciones ATC > indicaciones SID/STAR, se recomienda encarecidamente el uso de las indicaciones SID/STAR al máximo, minimizando las restricciones ATC. Esto es porque se evitan duplicidades o conflictos de restricciones contrarias, ya que se aplican a nivel procedimiento y no a nivel general. Así, como en el ejemplo, las restricciones ATC creadas son las mínimas necesarias para el correcto desarrollo de la simulación.

Así, quedan introducidas las restricciones ATC mínimas para la simulación.

## 2.6.- Condiciones meteorológicas

### 2.6.1.- Introducción

Los últimos pasos consistirán en la creación de las condiciones meteorológicas del caso a simular. En este apartado, se introducirán datos como temperatura, dirección o velocidad del viento, o incluso las zonas en las que se deben de aplicar dichas condiciones.

### 2.6.2.- METEO

En la herramienta METEO se definirán las condiciones meteorológicas generales que se aplicarán a toda la simulación. Estos datos se introducirán mediante la herramienta “Meteo env.” de IPAS:

1. Seleccionar el botón “Jump to”, junto a “Meteo env.” en IPAS.
2. Seleccionar la ventana de elementos “METEO PARAMETERS”.
3. Seleccionar el elemento creado por el sistema y seleccionar el botón “Modify”.
4. Introducir una descripción de las condiciones o un nombre para ella.
5. Introducir la temperatura predeterminada en grados Celsius.
6. Introducir la dirección del viento predeterminada en grados.
7. Introducir la velocidad del viento predeterminada en nudos.
8. Introducir la velocidad del sonido en ms.
9. Seleccionar el botón “OK” y “commit database”.

Description	Default temperature	Default wind heading	Default wind speed	Sound speed
Meteo del TMA Palma	15	240	8	160.0

Buttons: Up, Down, Refresh, Copy, OK, Cancel

Figura 67: Meteo en IPAS

Existe la posibilidad de aplicar diferentes condiciones meteorológicas en diferentes zonas de la simulación. Esto se puede hacer mediante la ventana “FORECAST METEOS” en la herramienta “Meteo env.”

Si se ha seguido el orden correcto en la solución de errores y en la introducción de datos, todo está preparado para ejecutar la comprobación y validación final de los datos.

## 2.7.- Validación final

### 2.7.1.- Introducción

Es el momento de comprobar que todos los datos introducidos, desde el entorno hasta el tráfico, pasando por las restricciones y las condiciones meteorológicas, son correctos y suficientes para la generación de perfiles verticales automáticos de las aeronaves y para la correcta simulación del caso. La comprobación final constará de dos pasos: “Check” y “Delivery”.

Antes de realizar cualquier comprobación, se deberá de arrancar la máquina virtual de ESCAPE GRD (empgr01-ACE19A-CentOS7u7 en VirtualBox) como se explica al comienzo del manual. Esto se debe a que, para la validación final, habrá una transferencia de datos entre máquinas virtuales mediante unas carpetas compartidas, por lo que ambas, IPAS y GRD deben de estar arrancadas.

Ahora sí, se procederá a las comprobaciones finales.

### 2.7.2.- Check

Este “check” no se diferencia de las comprobaciones que se van haciendo a lo largo de la introducción de datos. De igual manera, se recomienda una comprobación final con esta herramienta para asegurar que todos los datos han sido introducidos correctamente. Para ello:

1. Seleccionar el botón “CHECK”, en IPAS.
2. Seleccionar el botón “Check” en la parte superior de la herramienta.
3. Seleccionar “Current exercise”.

Si el ejercicio ha sido creado correctamente, se arrojará el mensaje “NO ERROR DETECTED”.

4. Seleccionar el botón “Close” en el “Report panel”.
5. Seleccionar el botón “Close” en “EXERCISES”.

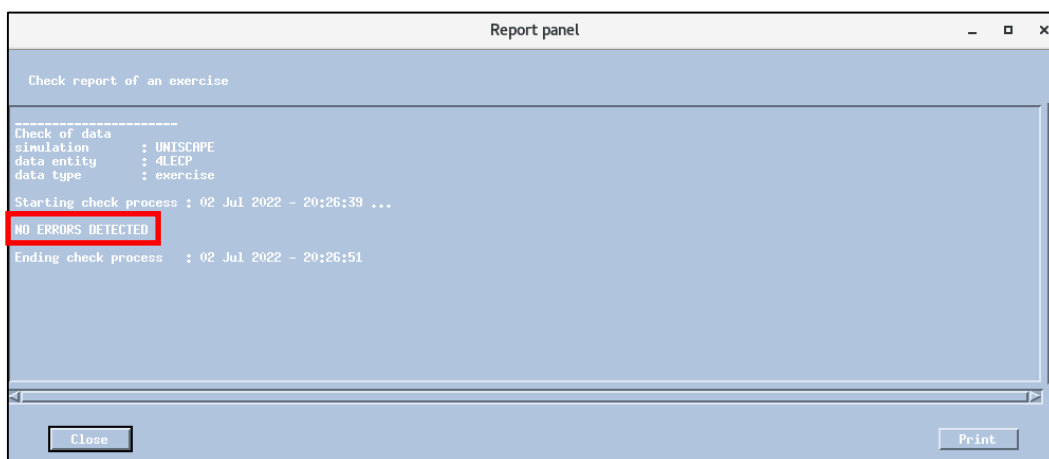


Figura 68: Check final del ejercicio

Así, es seguro que el ejercicio está, a priori, listo para generarse y simularse. Sin embargo, se hará una validación conjunta del ejercicio junto con el tráfico.

### 2.7.3.- Delivery

Para la entrega o “delivery” es completamente necesario tener la máquina virtual GRD arrancada por lo mencionado anteriormente. No es necesario ejecutar la herramienta ESCAPE en la terminal de la máquina, sino que simplemente con tenerla arrancada y el usuario desbloqueado sería suficiente.

Una vez se tiene esto, se realizará la entrega desde la herramienta “CHECK” de IPAS, al igual que el proceso anterior. Una vez en ella:

1. Seleccionar el botón “CHECK”, en IPAS.
2. Seleccionar el botón “Delivery” en la parte superior de la herramienta.
3. Seleccionar “Current exercise”.

Cuando una entrega se ha efectuado correctamente aparece como “done” en la ventana emergente.

4. Seleccionar “Close” en el “Report panel”.
5. Seleccionar “Close” en “EXERCISES”.

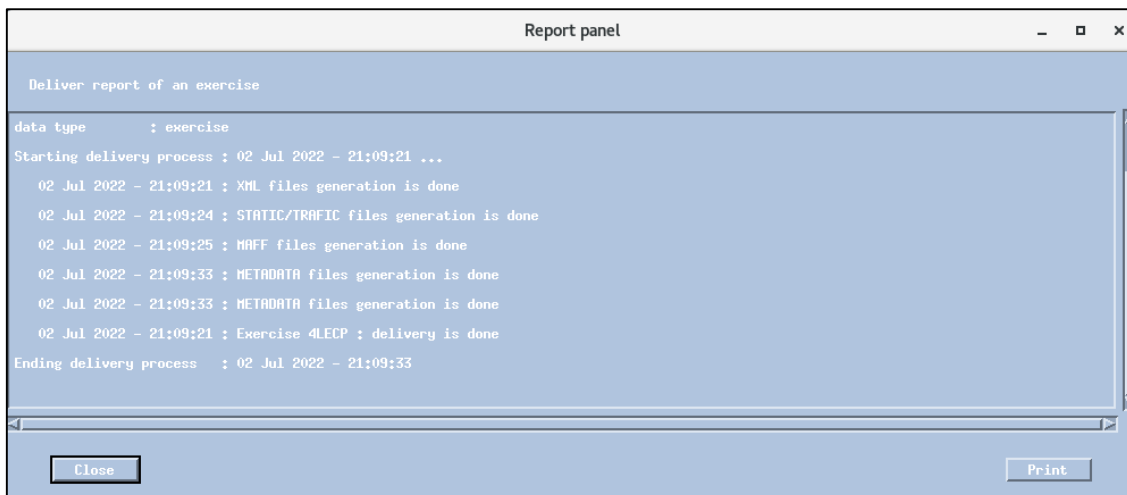


Figura 69: Delivery del ejercicio

Esta es la apariencia de una entrega realizada sin errores. Una vez se ha hecho la entrega, ya se puede realizar la validación final y la generación de las trayectorias y perfiles verticales.

### 2.7.4.- PVT – Profile Validation Tool

La herramienta de validación de perfiles o PVT (Profile Validation Tool) es la encargada de realizar la evaluación, validación final del tráfico y la generación de los perfiles verticales. Para poder llevar esto a cabo, es necesario que el “check” y el “delivery” no haya arrojado ningún tipo de error.

Para iniciar la herramienta PVT:

1. Seleccionar el botón “PVT”, en IPAS.
2. Seleccionar el botón “Application” en la parte superior de la herramienta.

3. Seleccionar “Analyse data with PVT”
4. Seleccionar “Batch (Ground only)”
5. Seleccionar el botón “Start” en la ventana emergente
6. Seleccionar el botón “OK” en la nueva ventana emergente “PVT message box”.

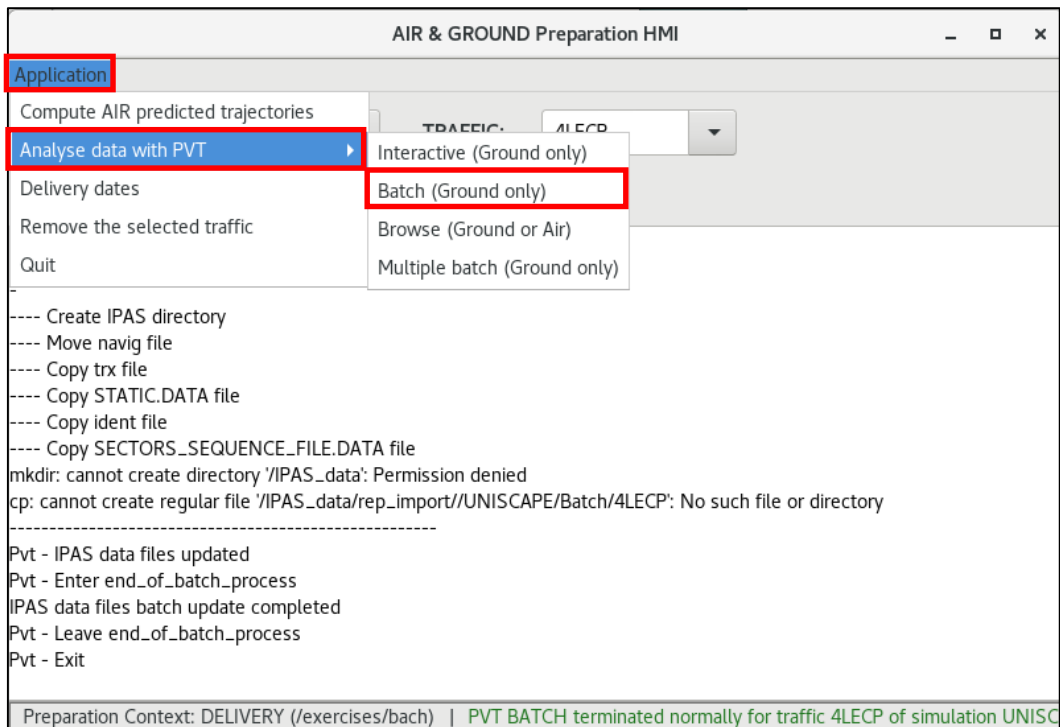


Figura 70: Herramienta PVT en IPAS

Si no hay ningún error, la ventana debería de arrojar un mensaje similar a este:

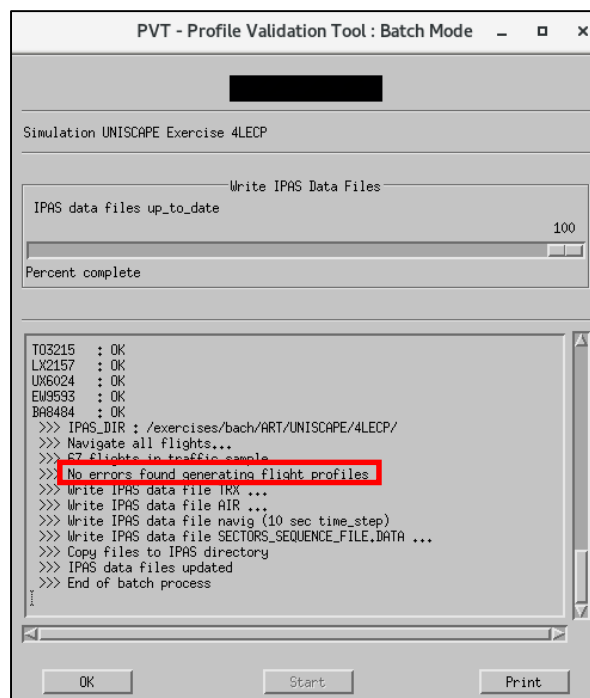


Figura 71: Mensaje sin errores de la herramienta PVT



Una vez hecho esto, se procederá a generar los perfiles verticales, las trayectorias predichas automáticamente por ESCAPE. Esto se hará desde la herramienta PVT, al igual que el proceso anterior. Una vez dentro de ella:

1. Seleccionar el botón “Application” en la parte superior de la herramienta.
2. Seleccionar “Compute AIR predicted trajectories”

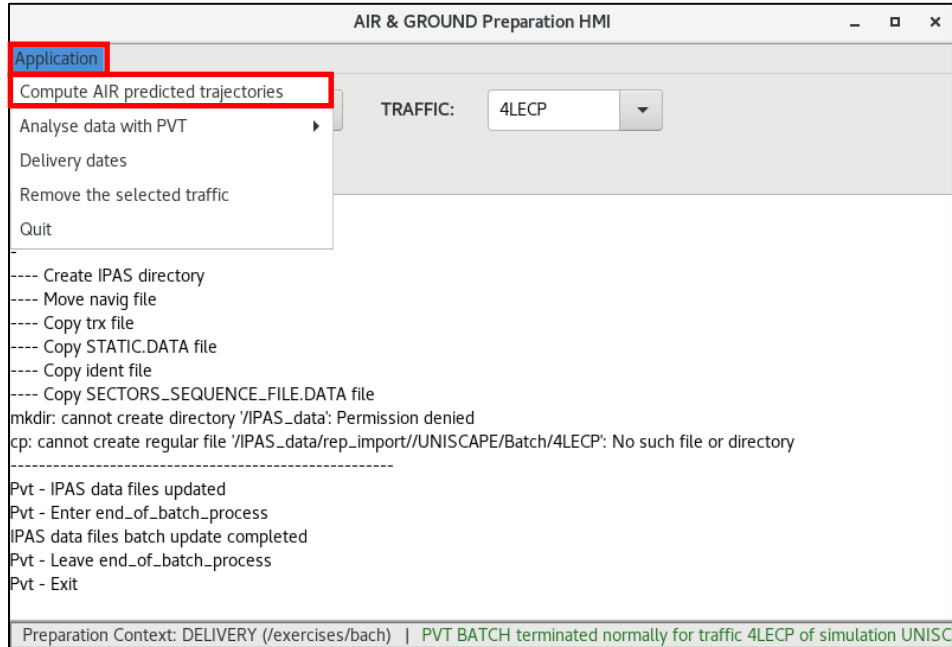


Figura 72: Herramienta PVT en IPAS 2

Si el proceso se ha realizado correctamente, aparecerá este mensaje en pantalla:

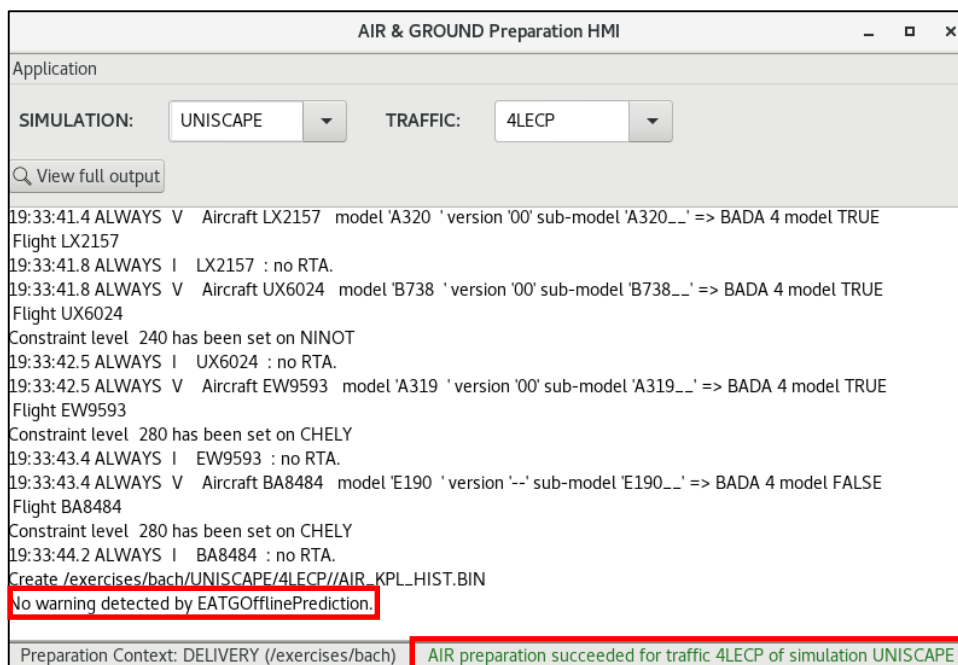


Figura 73: Mensaje sin errores de la herramienta PVT 2

Ahora sí, todas las comprobaciones han sido realizadas con éxito y la simulación está lista.

### 3.- ART ANALYSIS

#### 3.1.- Introducción a la herramienta

La herramienta ART ANALYSIS de IPAS es, junto con la simulación de ESCAPE, la más potente y versátil en cuanto a automatización se refiere. En el caso de la herramienta ART ANALYSIS, no se podrá dar indicaciones y órdenes a las aeronaves como controlador, sino que simplemente se podrá observar el escenario automático.

Sin embargo, arroja gran cantidad de datos a analizar como: información acerca de conflictos (suponiendo que se desarrolle el escenario de manera automática y sin intervención de los controladores), la carga de cada sector, los sectores en los que más tiempo permanecen las aeronaves, la fluidez de las aerovías, etc. Todo ello permitirá analizar y obtener conclusiones del espacio aéreo simulado.

Para acceder a la herramienta e inicializar el caso, será necesario:

1. Seleccionar el botón “ART ANALYSIS”, en IPAS.
2. Seleccionar el botón “Manage Exercise” en la parte superior de la herramienta.
3. Seleccionar “Start”

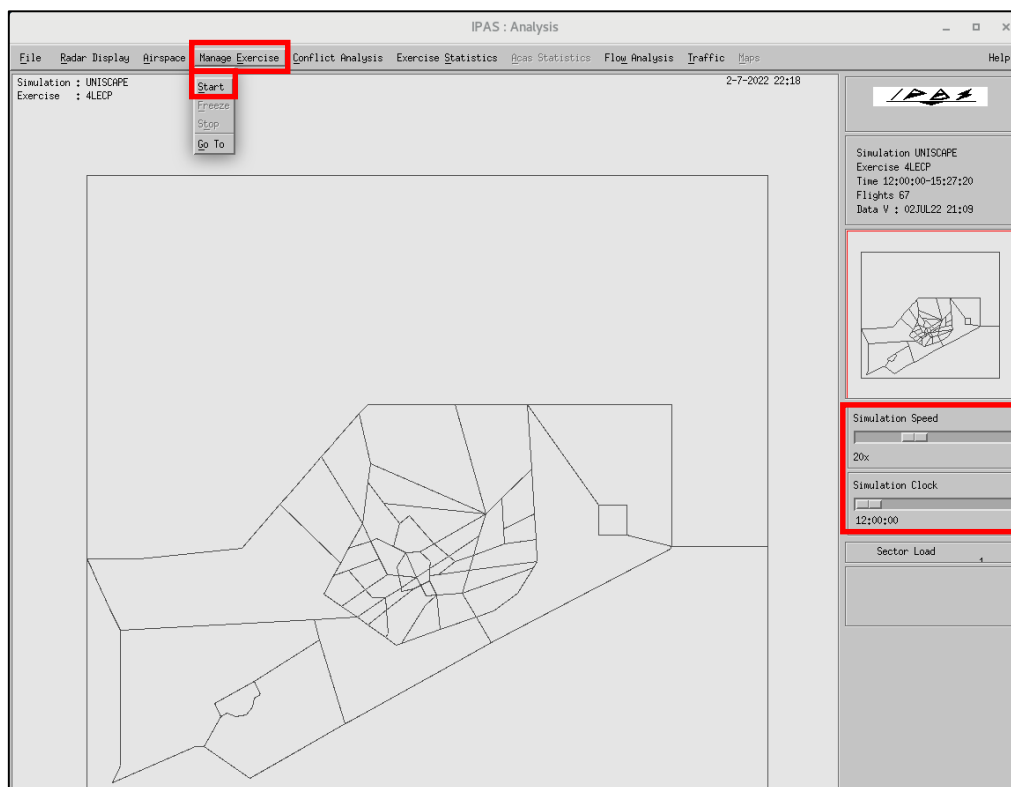


Figura 74: Arranque simulación ART ANALYSIS

Al igual que la herramienta ART VISU, en la ventana superior “Airspace” se podrá elegir qué elementos del entorno de simulación deberán aparecer: puntos, sectores, etc. En la parte derecha, se podrá modificar la velocidad de la simulación y el momento de la simulación que se quiere observar. Para parar o reiniciar la simulación, se realizará desde la misma ventana que la inicialización, “Manage Exercise”.

Durante la simulación, cada aeronave se caracterizará por el nivel de vuelo al que se encuentra, por una flecha que indicará si la aeronave esta en ascenso, descenso, o manteniendo el nivel de vuelo, la velocidad y el sector en el que se encuentra la aeronave.

### 3.2.- Análisis de conflictos

Dentro de la herramienta ART ANALYSIS, se encuentra la opción de “Conflict Analysis”, la cual permitirá establecer unos parámetros que clasificarán los tipos de conflictos que aparecerán en “Set parameters”. También ofrece una lista de los conflictos de la simulación junto con información de ellos, como la duración de los mismos, las naves involucradas en el conflicto y una simulación individual del conflicto en “Conflict List”. Además, también se pueden crear nuevos conflictos multiplicando tráfico en “Coinflicts Builder” o ver la localización de los conflictos en el radar con “Display conflicts”.

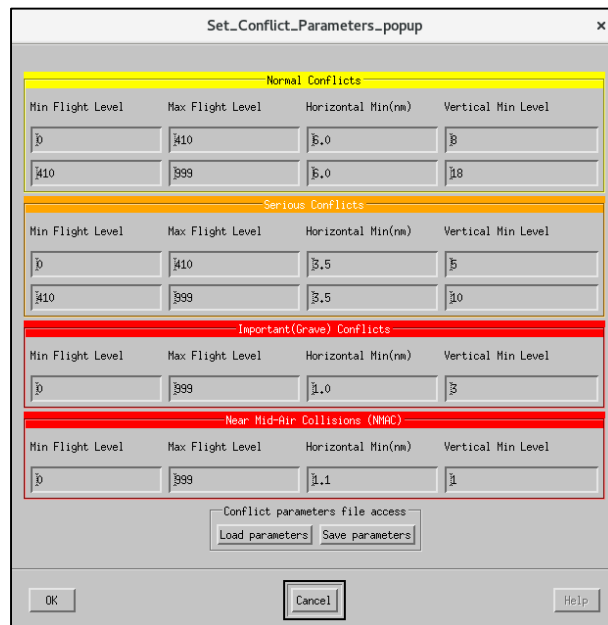


Figura 75: Configuración de parámetros de conflictos

Start Time	Type	Callsign1	Sector1	Callsign2	Sector2	Min H/S	Min V/S
12:20:00	VI	UX1706	APP	WT7773	APP	0,00	0
12:30:20	HN	NT5100	APP	IB8626	APP	3,54	1
12:35:00	VI	FR4614	APP	FR7205	APP	0,00	0
12:40:00	VI	LS258	APP	VV3950	APP	0,00	0
12:40:10	SE	UX6037	APP	LS258	APP	2,60	0
12:40:10	SE	UX6037	APP	VV3950	APP	2,33	2
12:55:00	VI	FR7510	MOX	IB8963	MOX	0,00	0
13:20:00	VI	EM2583	APP	FR1486	APP	0,00	0
13:20:00	VI	EM2583	APP	VV3905	APP	0,00	0
13:20:00	VI	FR1486	APP	VV3905	APP	0,00	0
13:30:00	VI	EM7583	APP	UX8060	APP	0,00	0
13:38:20	SE	VV3510	IAX	FR8146	IAX	2,98	1
13:50:10	SE	T03214	APP	LS1530	APP	2,78	0

Figura 76: Lista de conflictos

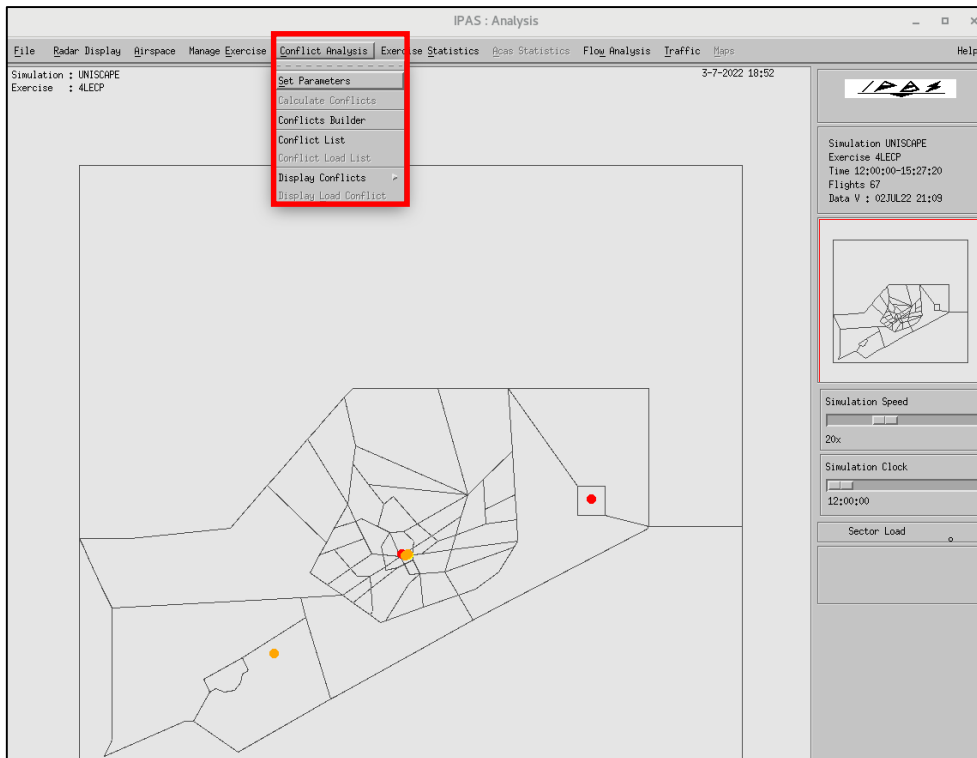


Figura 77: Herramienta de conflictos de ART ANALYSIS

### 3.3.- Estadística del ejercicio

Otra de las herramientas de ART ANALYSIS es la estadística del ejercicio. Se encuentra en la ventana superior “Exercise Statistics” y mediante ella se pueden obtener datos como la carga de los sectores o el tiempo que permanece una aeronave en cierto sector del espacio aéreo, incluso en qué fase del vuelo lo hacen.

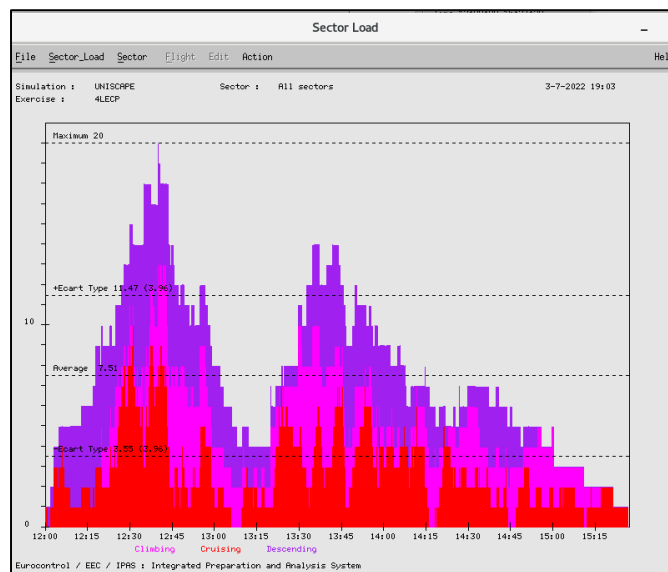
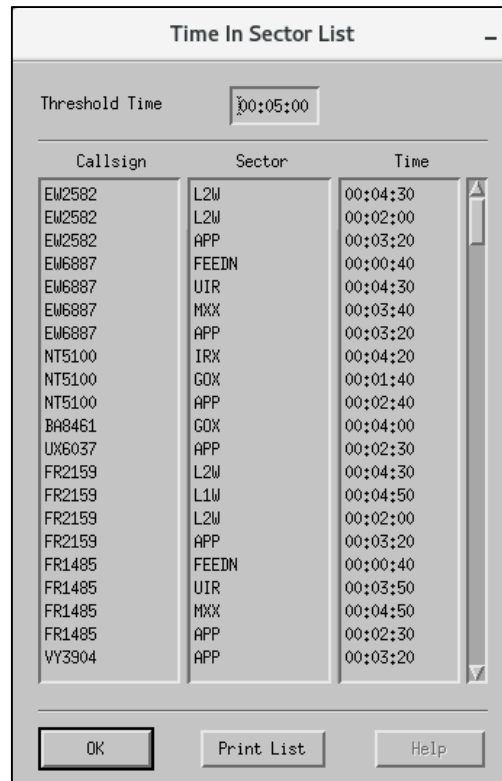


Figura 78: Herramienta de carga de sectores

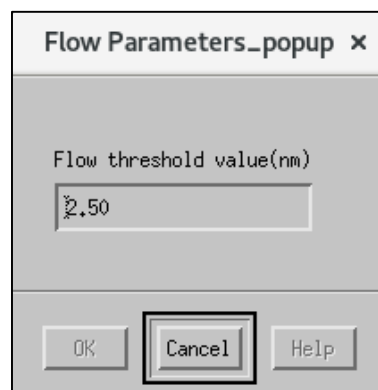


Callsign	Sector	Time
EM2582	L2W	00:04:30
EM2582	L2W	00:02:00
EM2582	APP	00:03:20
EM6887	FEEDN	00:00:40
EM6887	UIR	00:04:30
EM6887	MXX	00:03:40
EM6887	APP	00:03:20
NT5100	IRX	00:04:20
NT5100	GOX	00:01:40
NT5100	APP	00:02:40
BA8461	GOX	00:04:00
UX6037	APP	00:02:30
FR2159	L2W	00:04:30
FR2159	L1W	00:04:50
FR2159	L2W	00:02:00
FR2159	APP	00:03:20
FR1485	FEEDN	00:00:40
FR1485	UIR	00:03:50
FR1485	MXX	00:04:50
FR1485	APP	00:02:30
VY3904	APP	00:03:20

Figura 79: Lista de tiempos en sector

### 3.4.- Análisis de la fluidez

Mediante la estadística del ejercicio se pueden obtener datos de la carga por sectores, sin embargo, con la herramienta de análisis de fluidez “Flow Analysis” se podrán obtener datos acerca de la carga por cada tramo de las diferentes aerovías y procedimientos del espacio controlado. Al igual que con la herramienta de conflictos, mediante “Set parameters” se puede introducir el límite para el rango de niveles de carga de segmento. Una vez se haya computado la fluidez con “Compute Beacon Flow”, se podrá acceder al diagrama de fluidez con “Display flow”.



Flow Parameters\_popup ×

Flow threshold value(nm)

2.50

OK Cancel Help

Figura 80: Valor límite de rango de cargas

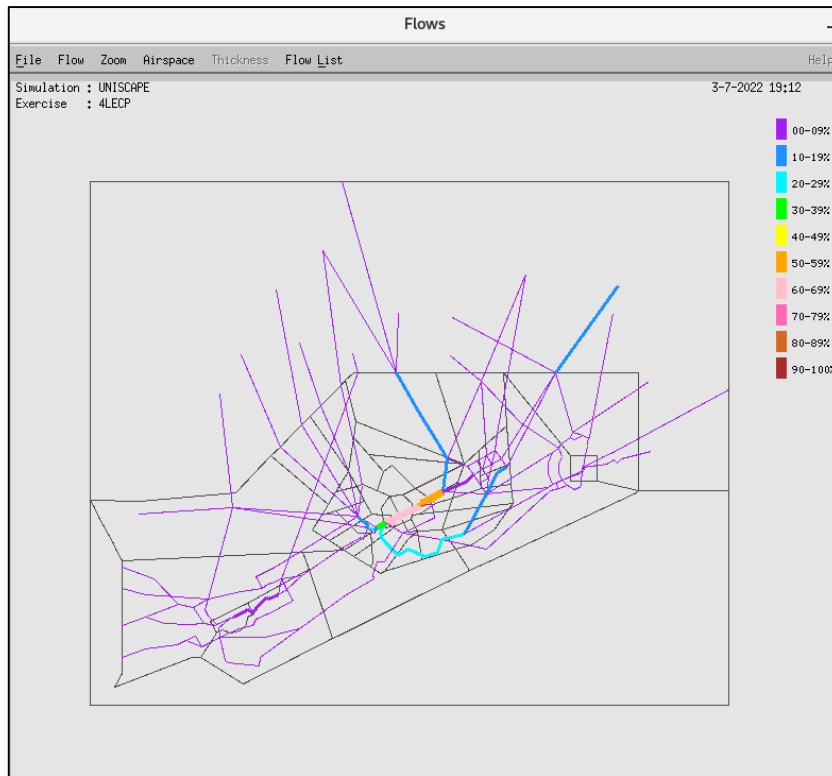


Figura 81: Herramienta de fluidez en ART ANALYSIS

### 3.5.- Tráfico

La herramienta de tráfico es la última de ART ANALYSIS. Con ella, se podrá tener información detallada a varios niveles de segmentación. Permite crear una lista información personalizada del espacio aéreo, aumentar la cantidad de tráfico en la simulación o realizar “queries” de información exportable.

Sort	Sort	Sort	Sort	Sort	Sort
Callsign	StartTime	EndTime	EFL	FeedSector	ECodeSSR
EM2582	12:00:00	12:20:30	350	FEEDIN	0125/A
FR7509	12:02:00	12:19:40	190	FEEDIN	4444/A
EM4887	12:03:00	12:23:50	340	FEEDIN	6673/A
NTS100	12:03:00	12:21:10	390	UIR	4442/A
BH6461	12:05:00	12:40:20	370	FEEDIN	2020/A
UN6037	12:13:00	12:40:50	170	FEEDIN	1256/A
FR2159	12:17:00	12:37:30	370	FEEDIN	6851/A
FR1495	12:18:00	12:44:30	290	FEEDIN	1742/A
VY3904	12:18:00	12:47:30	170	FEEDIN	1277/A
UN1706	12:20:00	12:44:00	001	APP	1253/A
W17773	12:20:00	12:43:50	001	APP	4454/A
FR6578	12:23:00	12:54:40	170	FEEDIN	1266/A
IB8495	12:25:00	12:51:20	001	MX	1257/A
UN6048	12:25:00	12:44:00	001	APP	3252/A
IB8962	12:27:00	12:46:00	200	FEEDIN	5041/A
LS1523	12:28:00	12:58:40	300	FEEDIN	1142/A
IB8826	12:30:00	12:46:30	001	APP	0050/A
U27143	12:30:00	13:02:10	390	FEEDIN	0626/A
FR4614	12:35:00	12:53:00	001	APP	3272/A
FR7205	12:35:00	12:57:00	001	APP	5613/A
IB8451	12:35:00	12:46:40	001	IRX	4467/A
LS359	12:40:00	13:06:20	001	APP	5374/A
VY3717	12:40:00	12:57:50	001	MX	1272/A
VY3950	12:40:00	12:58:10	001	APP	4471/A
VY3945	12:45:00	13:03:30	001	APP	0045/A
EM4891	12:48:00	13:08:10	290	FEEDIN	6854/A
JET7	12:52:00	13:02:10	350	FEEDIN	5216/A
EM5590	12:55:00	13:16:40	370	FEEDIN	0120/A
FR7510	12:55:00	13:12:10	001	MX	0267/A
IB8963	12:55:00	13:24:30	001	MX	0445/A

Figura 82: Lista de tráfico

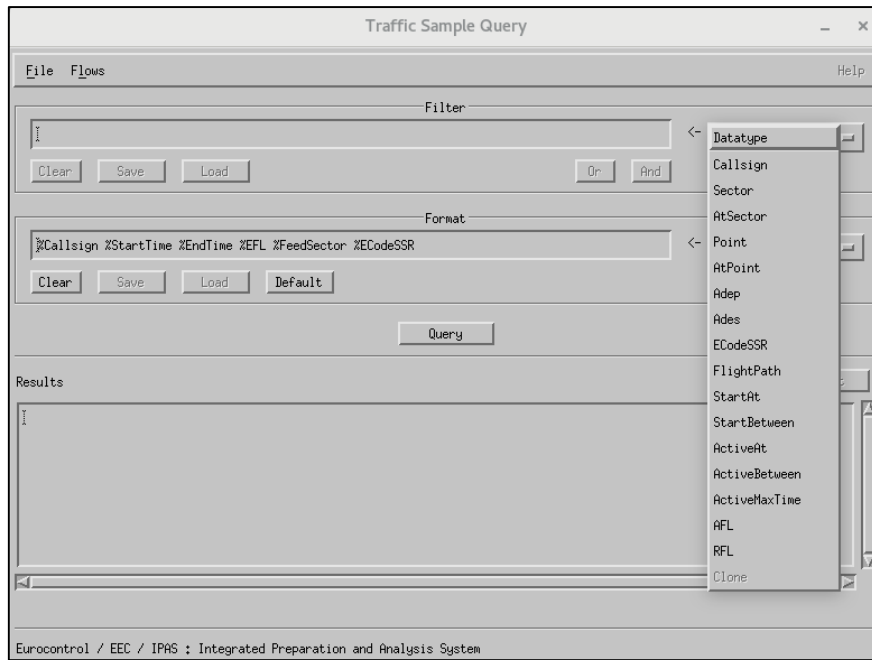


Figura 83: Query de datos de tráfico

## 4.- ESCAPE

### 4.1.- Introducción

Por último, solo quedaría realizar la simulación mediante ESCAPE. De manera adicional a ART ANALYSIS, con ESCAPE se puede interactuar con las aeronaves dentro de la simulación. Esto lo convierte en la herramienta de gran potencia y utilidad, ya que puede ser usada para el entrenamiento de controladores de tráfico aéreo, para la evaluación de cambios procedimentales para la mejora de la fluidez de los aeropuertos o incluso para la creación y evaluación desde cero de todo un espacio aéreo para un aeropuerto nuevo, o su impacto con el resto del tráfico. Aunque es necesario remarcar que cuanto más ambicioso sea el proyecto y la simulación, mayor debe de ser la potencia computacional dedicada al mismo.

ESCAPE permite correr un único puesto de controladores en un sector, por lo que si se crea un espacio aéreo con diferentes sectores se necesitarán diferentes puestos físicos conectados en LAN para simular el espacio aéreo interactivamente o tener un puesto muy potente capaz de simular todos al mismo tiempo.

### 4.2.- Preparar un ejercicio para simular en ESCAPE

Para una correcta simulación, lo primero será arrancar las cuatro máquinas virtuales y habilitar la segunda pantalla de la máquina emppilfeed01. Una vez hecho esto, se debe de arrancar la herramienta ESCAPE en la máquina GRD desde la “Terminal”, como está explicado al comienzo del manual. Una vez hecho esto:

1. Seleccionar el botón “Refresh”.
2. Hacer click derecho en la ventana “Exercise”.
3. Seleccionar “Create & Prepare...”
4. Seleccionar el ejercicio que se quiere simular.

Una vez se haya creado y cargado:

5. Seleccionar el botón “Preparation Tool...”

La herramienta “Preparation Tool...” es la misma que la herramienta “PVT” explicada en el manual. Se recomienda volver a realizar el mismo procedimiento para asegurar que no existe ningún error para la correcta simulación del caso. Una vez hecho hecho:

6. Seleccionar el ejercicio que se quiere simular con el click izquierdo.
7. Seleccionar el botón “Create/Edit Run...”

En esta ventana se debe seleccionar qué servicios se quieren tener en cuenta en la simulación. Normalmente todos estos servicios van enlazados a la máquina GRD. Los servicios STCA y MTCA son opcionales y pueden atribuirse a la máquina GRD en caso de querer simularlos.

8. Seleccionar el botón “AIR Selection”.
9. Seleccionar la máquina “empgrd01” para el puesto EATG(s).
10. Seleccionar la ventana “PWP components” dentro de la misma herramienta.
11. Seleccionar la máquina “emppil01” para el puesto PWP.
12. Seleccionar el botón “Save”.
13. Seleccionar el botón “CWP Selection”.



14. Seleccionar la máquina “empcwp01” para el puesto de controlador de sector.
15. Seleccionar la máquina “emppil01” para el puesto de controlador de alimentación.
16. Seleccionar el botón “Save”.
17. Seleccionar el botón “Save”.
18. Hacer click derecho sobre el nuevo “Run” creado.
19. Seleccionar “Deploy\_RUNNAME”.
20. Seleccionar “Start”

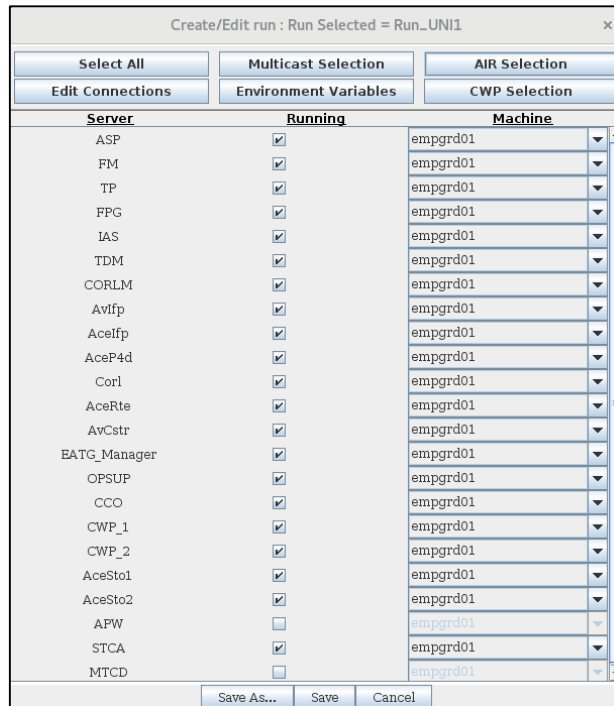


Figura 84: Asignación de máquinas ESCAPE

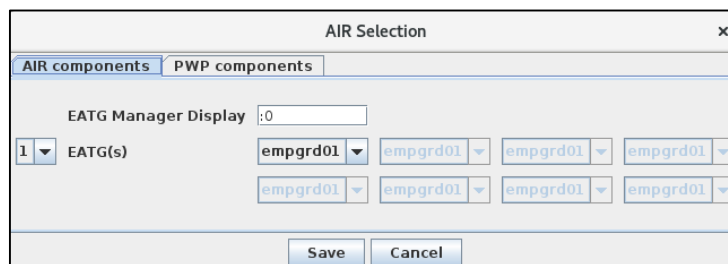


Figura 85: Componentes del aire

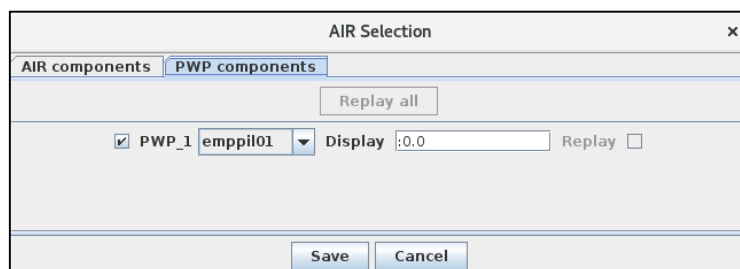


Figura 86: Componentes de autopilotos

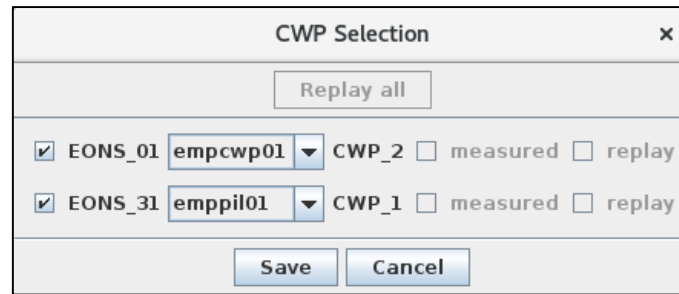


Figura 87: Asignación de controladres

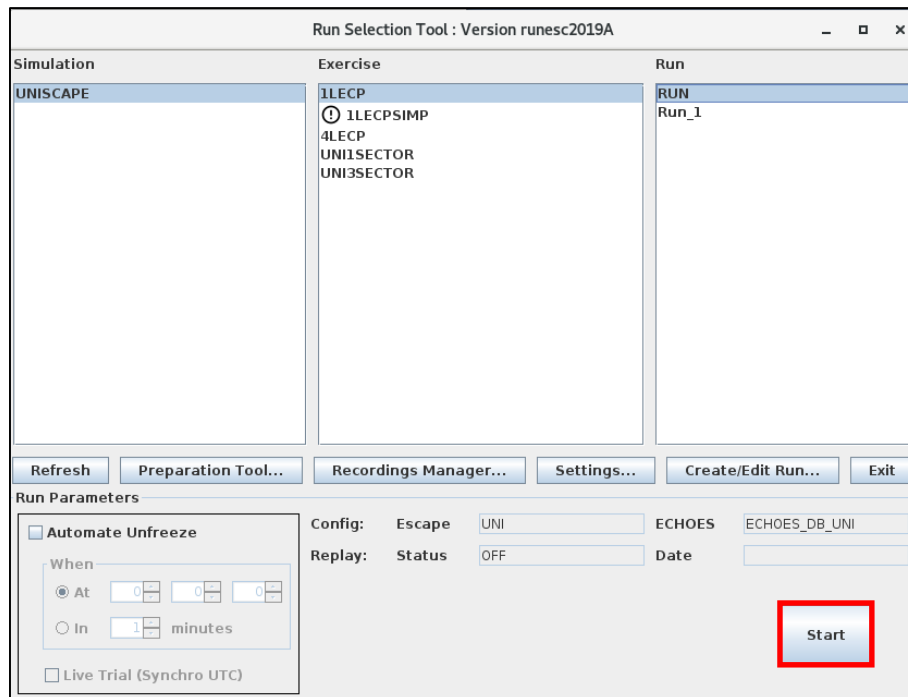


Figura 88: Arranque de la simulación mediante ESCAPE

Una vez hecho esto, se lanzará la simulación y se inicializará el esquema de servicios en la máquina “empgrd01”, desde donde se podrá controlar el momento de la simulación, la vista del controlador de alimentación y del autopiloto en las ventanas de la máquina “emppilfeed01” y, por último, la ventana del controlador del sector en la máquina “empcwp01”, en la que el usuario puede interactuar con el tráfico aéreo durante la simulación.

## **II CASOS DE ESTUDIO**

# 1.- Introducción

## 1.1.- Objetivos

En esta parte del trabajo se procederá a crear un entorno de simulación basado en el TMA de Palma de Mallorca, el día 07/03/2022 a partir de las 12:00 AM UTC+1 mediante el software ESCAPE de EUROCONTROL y proponer una metodología de análisis.

A lo largo del documento se llevará a cabo el método de creación de un caso en ESCAPE descrito en la metodología. Es por esto que se hará más hincapié en la obtención y transformación de datos, y no tanto en el propio proceso de introducción de los mismos.

El objetivo del análisis es simular tres horas de tráfico aéreo de la fecha de referencia y obtener información sobre los conflictos del caso con la herramienta ART ANALYSIS de ESCAPE, suponiendo que ningún controlador interviniese con sus decisiones para la gestión del tráfico aéreo.

Una vez se obtenga dicha información, se procederá a crear un nuevo procedimiento de aproximación para la pista 24L del Aeropuerto de Palma de Mallorca. Este procedimiento no será estático, sino que ofrecerá diferentes posibilidades de aproximación que el controlador en cuestión gestiona con la llegada del tráfico. Sin embargo, en este caso, irá acompañado de un algoritmo que, en base a los tiempos de llegada de las aeronaves, decidirá qué trayectoria deberá de seguir cada aeronave dentro del procedimiento.

Tras la implementación del nuevo procedimiento, junto con el algoritmo de toma de decisiones, se volverán a obtener y analizar los datos que arroja la simulación automática y serán comparados con los datos de la configuración y procedimientos actuales.

Con esto, se pretende comprobar si hay una mejora relevante del nuevo caso con respecto a la configuración original y adentrarse en la posible futura automatización de la gestión del espacio aéreo.

## 2.- Caso 1: Creación del entorno y validación

La primera tarea consistirá en la construcción del entorno de simulación. El objetivo del Caso 1 es replicar el espacio aéreo del TACC de Palma de Mallorca en la fecha de referencia, 07/03/2022 12:00 AM UTC+1. Esto significa que no sólo se debe introducir el espacio aéreo y la arquitectura del centro de control de Palma, sino que además se deberá replicar el tráfico de la manera más precisa posible para que los resultados que arroje el análisis sean realistas.

En todo proceso de análisis de datos hay varias partes a tener en cuenta: la obtención de datos (fuentes de datos), la transformación e introducción de datos (conocimiento sobre la herramienta de trabajo) y la obtención de los datos finales y conclusiones sobre estos (análisis y resultado de los datos obtenidos).

De estas tres tareas, la transformación e introducción de datos queda prácticamente cubierta por el manual. Por lo que, es obvio que antes del análisis e obtención de resultados, será completamente necesario conocer las fuentes de datos necesarias, para su posterior transformación e introducción. Así que, durante el análisis, aunque se seguirá un orden en la construcción de los casos, no se incidirá tanto en el propio proceso de introducción de datos ya cubierto, sino que se enfocará en la obtención de estos y los detalles que hayan resultado relevantes para un mejor análisis.

Se da por hecho que la instalación de la herramienta ya se ha llevado a cabo. Para la creación de los ejercicios/casos se seguirá el orden descrito en el manual.

### 2.1.- Inicialización de la simulación

El primer paso consistirá en arrancar la máquina virtual de IPAS para la verificación de los datos de referencia mundial y la posterior introducción de nuestro modelo. Una vez hecho esto, se procederá a la creación de los dominios en la herramienta DATASET.

#### 2.1.1.- Creación de dominios

Se crearán los siguientes dominios:

- AIRSPACE: LECP
- TRAFFIC\_SAMPLE: LECPT
- CONSTRAINT CONF.: LECPC
- ARCHITECTURE: LECPA
- METEO ENV.: LECPM

Todos los dominios estarán vinculados al ejercicio 1LECP

The screenshot shows a window titled "DATA SET Update Exercise". It contains the following fields and controls:

- Exercise name:** LECP
- Start date:** 07/03/2022
- Start time:** 11:55
- Description:** PALMA DE MALLORCA TRAINING 1
- Metadata:** (Empty text area)
- Domains used by the exercise:**
  - Airspace environment: LECP
  - Traffic sample: LECP
  - Constraint config.: LECP
  - Architecture: LECP
  - neteo env.: LECP
- Default exercise data
- Buttons:** Update, Clear, Close

Figura 89: Ejercicio del caso 1 - configuración actual

Se recomienda que el ejercicio comienza 5 minutos antes de la introducción de la primera aeronave en el espacio aéreo, por lo que se introducirá como fecha y hora de referencia 07/03/2022 y 11:55 AM UTC+1.

## 2.2.- Datos de los dominios AIRSPACE y ARCHITECTURE: Entorno de simulación

A lo largo de la introducción de datos se hará uso de una herramienta de ENAIRE llamada INSIGNIA. Esta es una herramienta muy completa, gratuita e interactiva en la que el usuario puede filtrar por los diferentes elementos del espacio aéreo y proyectarlos en el mapa del territorio español. Además, también contiene información de estos elementos, como las coordenadas de los puntos de navegación, límites de vuelo, configuración de sectores, etc. Otra herramienta de la que se hará uso es la de GoogleEarth para la localización de elementos.

Antes de proceder a ningún tipo de introducción de datos, ya que se conoce la herramienta, el primer paso será elegir la superficie de simulación, es decir, las coordenadas del volumen SWCE que define la ventana de simulación. Para ello, filtraremos en INSIGNIA por el TACC de Palma de Mallorca para ver las dimensiones del propio centro de control y una vez observados

cuales son los puntos más alejados, que se extenderán más allá del espacio sectorizado, se elegirán las dimensiones del volumen SWCE.

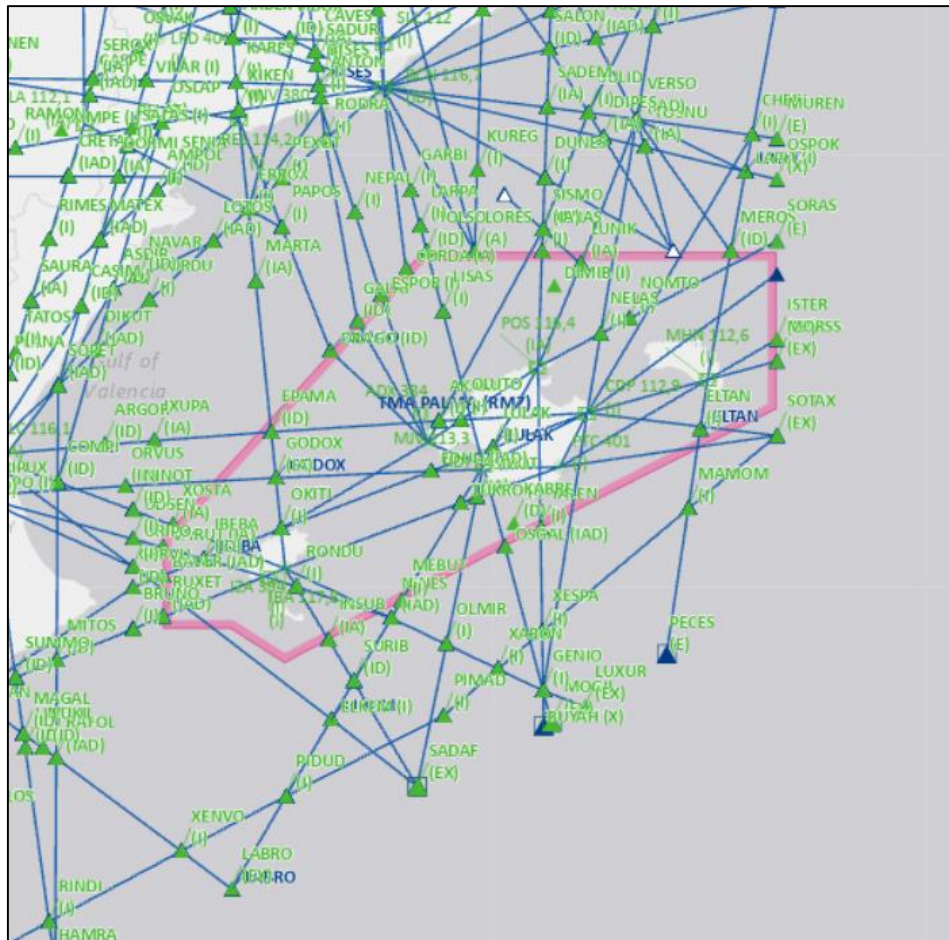


Figura 90: Captura de INSIGNIA del TMA de Palma

### 2.2.1.- Área de simulación

Después de observar las dimensiones del TACC de Palma y las aerovías que llegan y cruzan el espacio aéreo se han elegido estas coordenadas como los límites de la simulación:

- SWCE1: 41°45'58'' N 000°13'39'' E
- SWCE2: 41°45'58'' N 005°23'47'' E
- SWCE3: 38°17'37'' N 005°23'47'' E
- SWCE4: 38°17'37'' N 000°13'39'' E

AIRSPACE: LECP

Specific functionalities

AIRPORTS | GEO POINTS | AIRWAYS | SIDS | STARS | HOLDING STACKS | VOLUMES | VOLUME CONDITIONS | ATC CENTRES | SECTORS

POINTS

Point name	Type	Dg Lat.	Mn Lat.	H	Sc Lat.	Dg Long.	Mn Long.	D	Sc Long.	Paper	Ref. point	Range
SEZ	OUTL	41	45	N	58	005	23	E	47	N		
SE3	OUTL	38	17	N	37	005	23	E	47	N		
SE4	OUTL	38	17	N	37	000	13	E	39	N		
SISDU	NAV	38	53	N	53	000	58	E	44	Y		
SISMO	NAV	40	36	N	33	003	08	E	45	Y		
SONTA	NAV	38	46	N	22	001	07	E	01	Y		
SORAS	NAV	40	33	N	08	004	40	E	00	Y		
SOTAX	NAV	39	35	N	06	004	40	E	00	Y		
SURIB	NAV	38	20	N	31	001	55	E	01	Y		
SWCE1	OUTL	41	45	N	58	000	13	E	39	N		
SWCE2	OUTL	41	45	N	58	005	23	E	47	N		
SWCE3	OUTL	38	17	N	37	005	23	E	47	N		
SWCE4	OUTL	38	17	N	37	000	13	E	39	N		
SWCEF	NAV	39	43	N	00	005	23	E	47	Y		
TAKUS	NAV	39	46	N	28	002	49	E	17	Y		
TALEN	NAV	39	07	N	04	003	07	E	52	Y		
TETIS	NAV	39	53	N	50	003	56	E	17	Y		
TH01	NAV	39	51	N	04	004	12	E	59	Y		
TH06	NAV	38	52	N	01	001	21	E	32	Y		
TH06L	NAV	39	32	N	50	002	42	E	39	Y		
TH06R	NAV	39	32	N	35	002	44	E	09	Y		
TH19	NAV	39	52	N	20	004	13	E	14	Y		

Query

454 records (4 selected)

Figura 91: Puntos de la ventana de simulación

Una vez hecho esto, podemos hacer uso de la herramienta de IPAS ART VISU para observar la proyección:

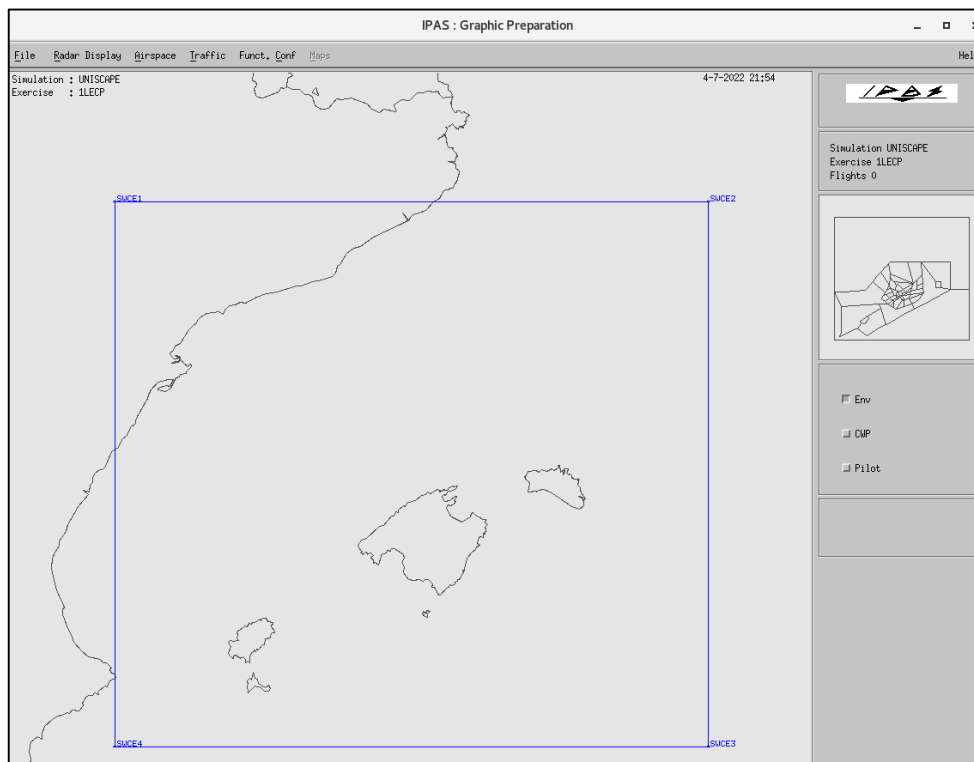


Figura 92: Volumen de simulación



2.2.2.- Punto de proyección central

Lo siguiente será el cálculo e introducción del punto de proyección central dados los límites de la ventana de simulación escogidos. El resultado es:

- CENT: 40°01'47'' N 002°48'43'' E

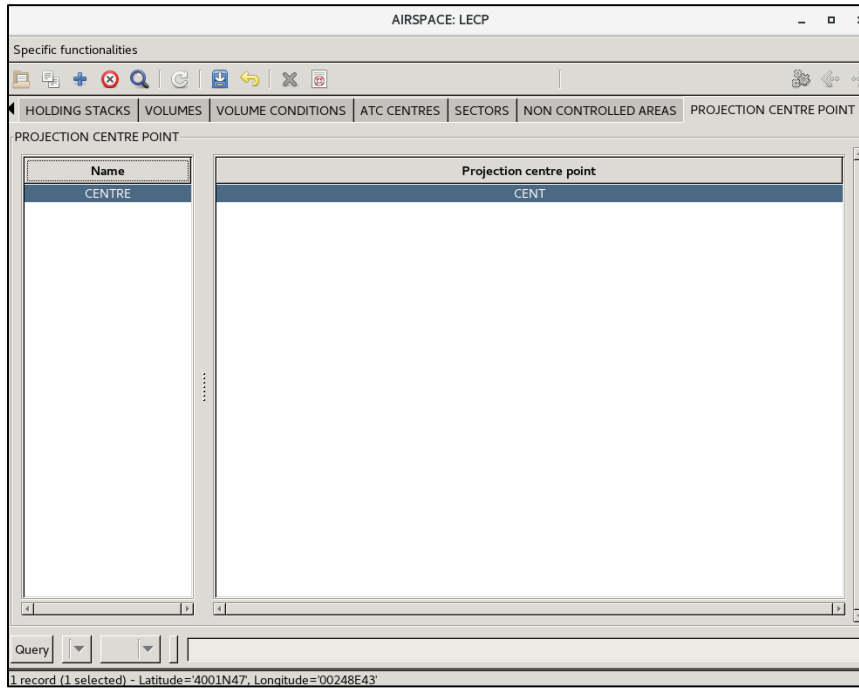


Figura 93: Punto central de la simulación

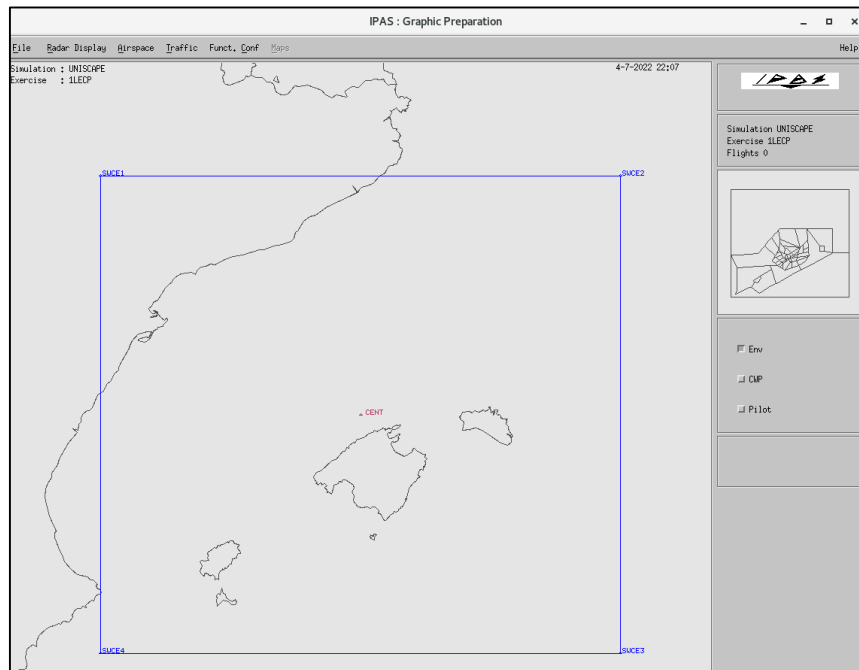


Figura 94: Punto central de la simulación 2

### 2.2.3.- Puntos de contorno y de navegación (OUTL y NAV)

El siguiente paso consistirá en la introducción de los puntos de navegación, pertenecientes a aerovías, y los puntos externos o de contorno, aquellos que definirán los vértices de los volúmenes, y por consecuencia de los sectores.

Los NAVPts o puntos de navegación han sido extraídos del documento del AIP de ENAIRE *ENR4.4: Designadores-nombres en clave para los puntos significativos* en formato *.csv*. Se ha convertido a *.xls* con la herramienta Excel, donde se ha filtrado por el TMA PALMA y eliminado el resto de datos. Ya que los datos se encontraban presentados de la forma *XXXXX.XN XXXXXXXX.XE*, se han creado dos funciones en un macro de Excel para convertir la disposición de los dígitos al formato correcto de lectura:

```
(General)
Function LATITUDE(GradosDecimales) As Variant
    Grados = Int(GradosDecimales)
    Minutos = (GradosDecimales - Grados) * 60
    Segundos = (Minutos - Int(Minutos)) * 60

    If GradosDecimales < 10 Then

        If Minutos < 10 Then

            If Segundos < 10 Then

                LATITUDE = "0" & Grados & "0" & Int(Minutos) & "0" & Int(Segundos) & "N"

            Else

                LATITUDE = "0" & Grados & "0" & Int(Minutos) & Int(Segundos) & "N"

            End If

        Else

            If Segundos < 10 Then

                LATITUDE = "0" & Grados & Int(Minutos) & "0" & Int(Segundos) & "N"

            Else

                LATITUDE = "0" & Grados & Int(Minutos) & Int(Segundos) & "N"

            End If

        End If

    Else

        If Minutos < 10 Then

            If Segundos < 10 Then

                LATITUDE = Grados & "0" & Int(Minutos) & "0" & Int(Segundos) & "N"

            Else

                LATITUDE = Grados & "0" & Int(Minutos) & Int(Segundos) & "N"

            End If

        Else

            If Segundos < 10 Then

                LATITUDE = Grados & Int(Minutos) & "0" & Int(Segundos) & "N"

            Else

                LATITUDE = Grados & Int(Minutos) & Int(Segundos) & "N"

            End If

        End If

    End If
End Function
```

Figura 95: Macro de Excel - función LATITUDE

```
(General)

Function LONGITUDE(GradosDecimales) As Variant
    Grados = Int(GradosDecimales)
    Minutos = (GradosDecimales - Grados) * 60
    Segundos = (Minutos - Int(Minutos)) * 60

    If GradosDecimales < 10 Then

        If Minutos < 10 Then

            If Segundos < 10 Then

                LONGITUDE = "00" & Grados & "0" & Int(Minutos) & "0" & Int(Segundos) & "E"

            Else

                LONGITUDE = "00" & Grados & "0" & Int(Minutos) & Int(Segundos) & "E"

            End If

        Else

            If Segundos < 10 Then

                LONGITUDE = "00" & Grados & Int(Minutos) & "0" & Int(Segundos) & "E"

            Else

                LONGITUDE = "00" & Grados & Int(Minutos) & Int(Segundos) & "E"

            End If

        End If

    Else

        If Minutos < 10 Then

            If Segundos < 10 Then

                LONGITUDE = "0" & Grados & "0" & Int(Minutos) & "0" & Int(Segundos) & "E"

            Else

                LONGITUDE = "0" & Grados & "0" & Int(Minutos) & Int(Segundos) & "E"

            End If

        Else

            If Segundos < 10 Then

                LONGITUDE = "0" & Grados & Int(Minutos) & "0" & Int(Segundos) & "E"

            Else

                LONGITUDE = "0" & Grados & Int(Minutos) & Int(Segundos) & "E"

            End If

        End If

    End If

End Function
```

Figura 96: Macro de Excel - función LONGITUDE

Una vez se tienen los datos dispuestos de la forma correcta, se importan a IPAS mediante la herramienta IMPORT.

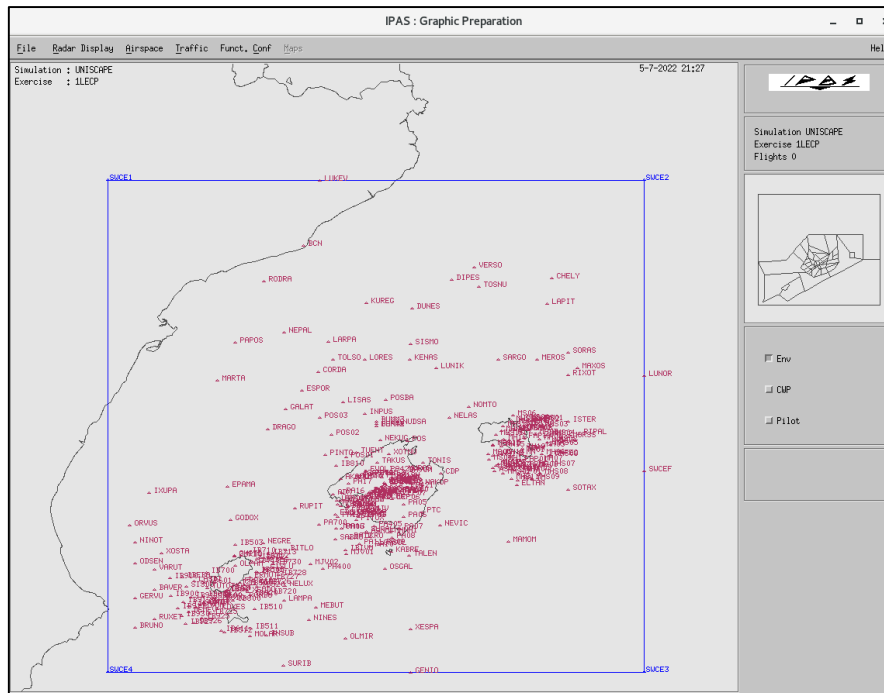


Figura 97: Puntos NAV del TMA del Palma

De esta manera, también se comprueba que todos los puntos estén dentro del volumen de simulación SWCE. En la imagen también aparecen puntos de navegación de procedimientos cuya obtención se explicará después.

Para la extracción de los OUTPts o puntos externos ha sido necesario acudir a la base de datos de ENAIRE sobre espacio aéreo, en la que se establecen las diferentes configuraciones existentes para el espacio aéreo de español, y en concreto, el del TMA de Palma. Cada una de estas configuraciones aparece con sus respectivos sectores, elementales o colapsados, y cada uno de ellos con sus respectivos bloques. Se han convertido los diferentes archivos en *.xls*, para así poder transformar y filtrar la gran cantidad de datos con mayor facilidad.

Así, se obtiene que un total de 123 bloques conforman el TMA de Palma. La configuración elegida para la simulación es la 8A, la cual determinará la combinación y formación de sectores a partir de estos bloques.

Posteriormente, se han eliminado los puntos duplicados, obteniendo un total de 139 puntos externos. Se han usado de nuevo las dos funciones mencionadas para la transformación de la disposición de los dígitos de las coordenadas y se han introducido siguiendo el código de nombres PXXX.

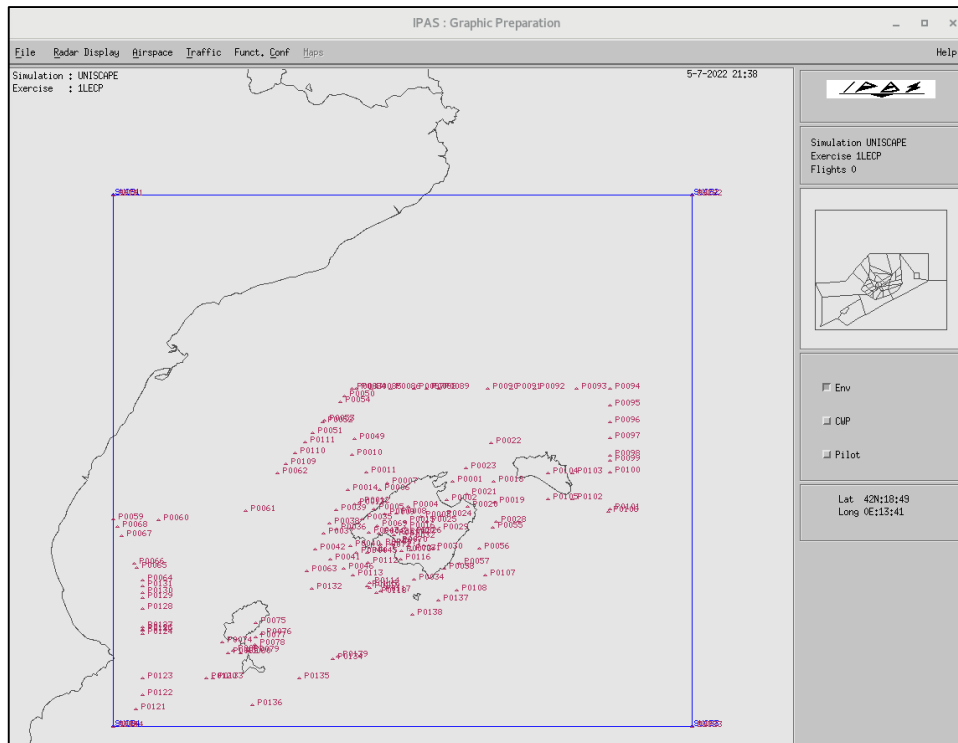


Figura 98: Puntos OUTL del TMA de Palma

Con la herramienta ART-VISU se puede observar cómo va tomando forma el área de control.

#### 2.2.4.- Aeropuertos y runways

Para la creación de aeropuertos y pistas, se deberá de introducir un punto con las coordenadas de cada aeropuerto y con las de ambos límites de cada pista, los puntos THXX. Los datos se han obtenido de los documentos *LE\_AD\_2\_LEPA\_LESJ\_en.pdf*, *LE\_AD\_2\_LEMH\_en.pdf* y *LE\_AD\_2\_LEIB\_en.pdf* del AIP de ENAIRE de los respectivos aeropuertos, ya que se simularán los tres: Palma de Mallorca, Menorca e Ibiza. De esta manera se obtendrá una simulación más parecida a la realidad.

AIRSPACE: LECP

Specific functionalities

AIRPORTS | GEO POINTS | AIRWAYS | SIDS | STARS | HOLDING STACKS | VOLUMES | VOLUME CONDITIONS | ATC CENTRES | SECTORS

AIRPORTS

Airport code	Altitude	Located on point	Paper	Full name	Transition altitude
LEIB	7	LEIB	Y	IBIZA	5000
LEMH	92	LEMH	Y	MENORCA	5000
LEPA	8	LEPA	Y	PALMA DE MALLORCA	5000
XXXX	0	DUMM1	N		0

RUNWAYS

QFU	Distinc.	Equ.	Deg ILS	Min ILS	Threshold	Heading	Width	Length	S
06	C	ILS PRECISION CAT I	3.0	3	TH06	062	0.02	2800	
24	C	ILS PRECISION CAT I	3.0	3	TH24	242	0.02	2800	

Query

4 records (1 selected) - Latitude='3852N22'; Longitude='00122E23'

Figura 99: Aeropuertos del TMA de Palma



Figura 100: Aeropuertos del TMA de Palma 2

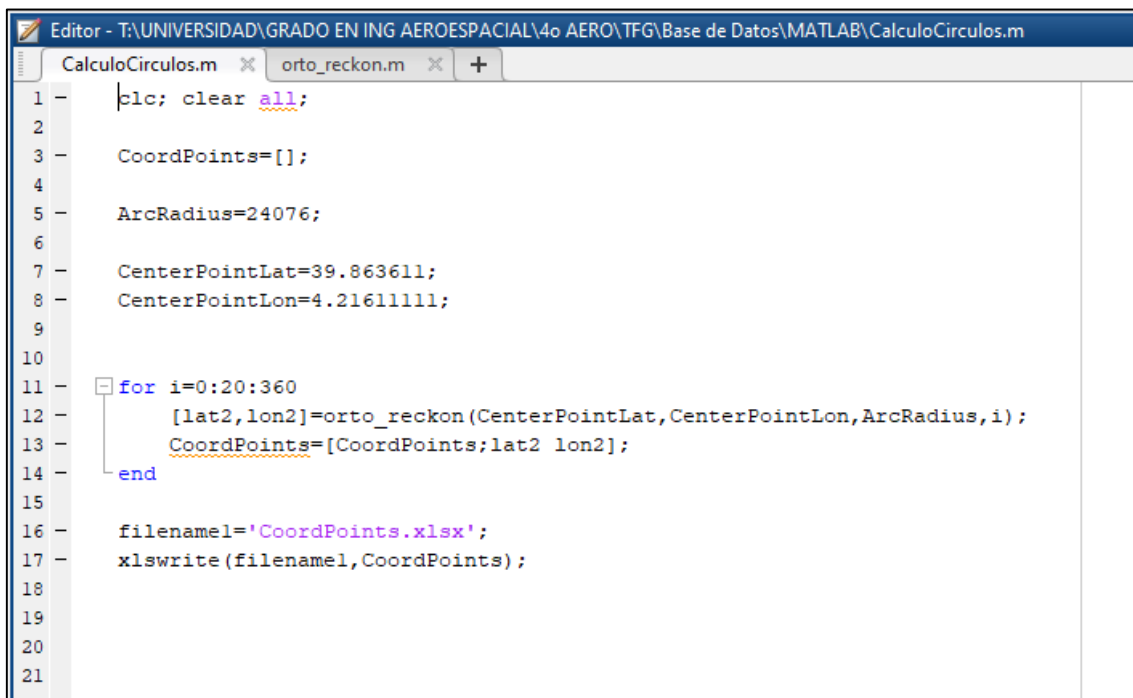
## 2.2.5.- Procedimientos SIDs y STARs y circuitos de espera

## 2.2.5.1.- SIDs

Para la creación de los procedimientos SIDs y los circuitos de espera incluidos en ellos se acudirá a los siguientes documentos del AIP de ENAIRE:

- Palma de Mallorca
  - *LE\_AD\_2\_LEPA\_LESJ\_SID\_1\_en.pdf*
  - *LE\_AD\_2\_LEPA\_LESJ\_SID\_2\_en.pdf*
  - *LE\_AD\_2\_LEPA\_LESJ\_SID\_3\_en.pdf*
  - *LE\_AD\_2\_LEPA\_LESJ\_SID\_4\_en.pdf*
- Menorca:
  - *LE\_AD\_2\_LEMH\_SID\_1\_en.pdf*
  - *LE\_AD\_2\_LEMH\_SID\_2\_en.pdf*
- Ibiza:
  - *LE\_AD\_2\_LEIB\_SID\_1\_en.pdf*
  - *LE\_AD\_2\_LEIB\_SID\_2\_en.pdf*

En concreto, los aeropuertos de Mallorca y Menorca tienen unos procedimientos en forma de arco alrededor del aeropuerto. No existe manera de introducir una distancia y un centro para crear un procedimiento con forma de arco en ESCAPE, por lo que se ha optado por dividir el arco en 18 secciones de 20°. Para obtener las coordenadas de los puntos de la circunferencia se ha creado un script de MATLAB *CalculoCirculos.m* en el que se ha usado la función *orto\_reckon* para el cálculo de las coordenadas, en la que se introducen las coordenadas de un punto, la distancia al punto que quiere ser calculado y los grados de giro.



```
Editor - T:\UNIVERSIDAD\GRADO EN ING AEROESPACIAL\4o AERO\TFG\Base de Datos\MATLAB\CalculoCirculos.m
CalculoCirculos.m x orto_reckon.m x +
1 - |clc; clear all;
2
3 - CoordPoints=[];
4
5 - ArcRadius=24076;
6
7 - CenterPointLat=39.863611;
8 - CenterPointLon=4.21611111;
9
10
11 - for i=0:20:360
12 -     [lat2,lon2]=orto_reckon(CenterPointLat,CenterPointLon,ArcRadius,i);
13 -     CoordPoints=[CoordPoints;lat2 lon2];
14 - end
15
16 - filename='CoordPoints.xlsx';
17 - xlswrite(filename,CoordPoints);
18
19
20
21
```

Figura 101: Script MATLAB - *CalculoCirculos.m*

Con esto, ya se puede proceder a la introducción de todos los puntos necesarios para la creación de los procedimientos. Esto, junto con los documentos mencionados, será suficiente para obtener la información necesaria.

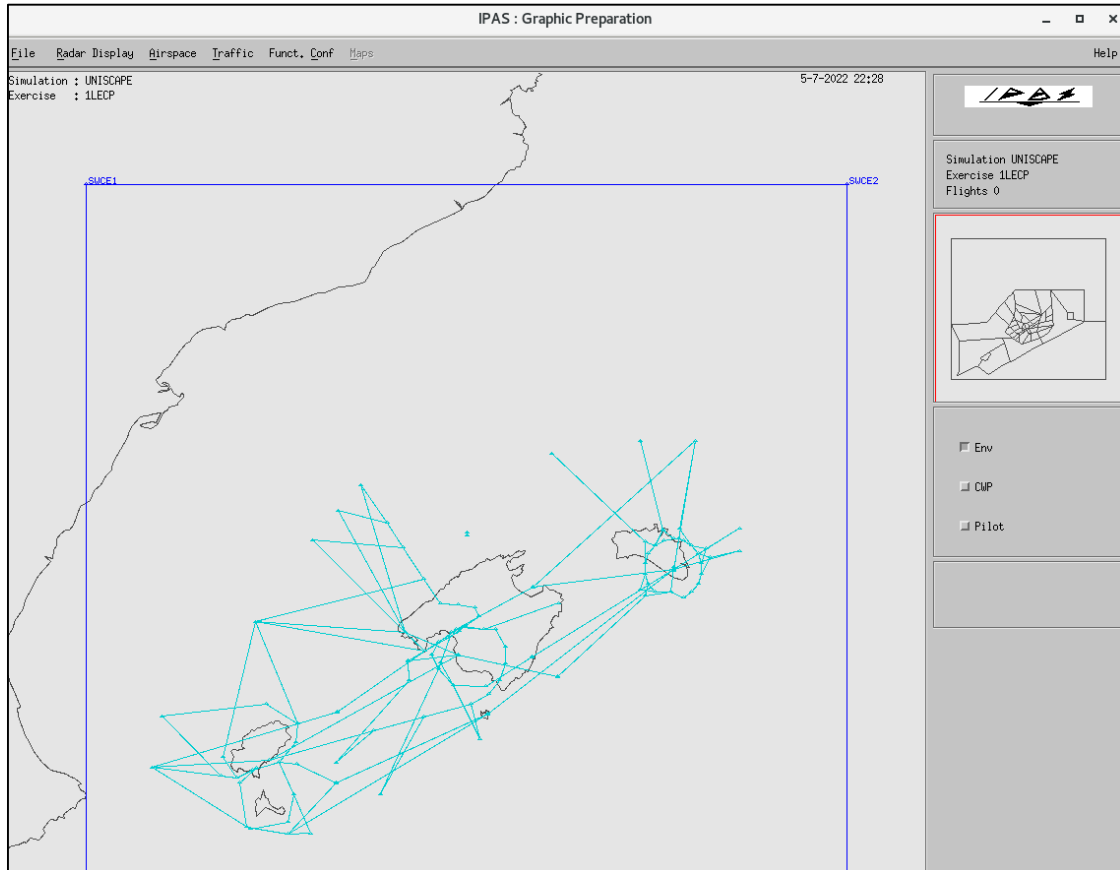


Figura 102: Procedimientos SID del TAM de Palma

#### 2.2.5.2.- STARs

Al igual que los procedimientos de salida, los de llegada y los circuitos de espera incluidos en los mismos se introducirán de forma similar. Los documentos que contienen los datos a introducir son:

- Palma de Mallorca:
  - *LE\_AD\_2\_LEPA\_LESJ\_STAR\_1\_en.pdf*
  - *LE\_AD\_2\_LEPA\_LESJ\_STAR\_2\_en.pdf*
  - *LE\_AD\_2\_LEPA\_LESJ\_STAR\_3\_en.pdf*
  - *LE\_AD\_2\_LEPA\_LESJ\_STAR\_4\_en.pdf*
  - *LE\_AD\_2\_LEPA\_LESJ\_IAC\_1\_en.pdf*
  - *LE\_AD\_2\_LEPA\_LESJ\_IAC\_6\_en.pdf*
  - *LE\_AD\_2\_LEPA\_LESJ\_IAC\_7\_en.pdf*
  - *LE\_AD\_2\_LEPA\_LESJ\_IAC\_12\_en.pdf*
  - *LE\_AD\_2\_LEPA\_LESJ\_IAC\_13\_en.pdf*
- Menorca:
  - *LE\_AD\_2\_LEMH\_STAR\_1\_en.pdf*
  - *LE\_AD\_2\_LEMH\_STAR\_2\_en.pdf*



- *LE\_AD\_2\_LEMH\_IAC\_1\_en.pdf*
- *LE\_AD\_2\_LEMH\_IAC\_2\_en.pdf*
- *LE\_AD\_2\_LEMH\_IAC\_7\_en.pdf*
- *LE\_AD\_2\_LEMH\_IAC\_8\_en.pdf*
- Ibiza:
  - *LE\_AD\_2\_LEIB\_STAR\_1\_en.pdf*
  - *LE\_AD\_2\_LEIB\_STAR\_2\_en.pdf*
  - *LE\_AD\_2\_LEIB\_IAC\_1\_en.pdf*
  - *LE\_AD\_2\_LEIB\_IAC\_2\_en.pdf*
  - *LE\_AD\_2\_LEIB\_IAC\_6\_en.pdf*
  - *LE\_AD\_2\_LEIB\_IAC\_7\_en.pdf*
  - *LE\_AD\_2\_LEIB\_IAC\_8\_en.pdf*

Al igual que los procedimientos de salida, algunos de los procedimientos de llegadas también siguen un arco en la llegada. Por lo que se ha usado el mismo script de MATLAB para hallar las coordenadas de los puntos del arco.

Este es el resultado después de la introducción de todas las características:

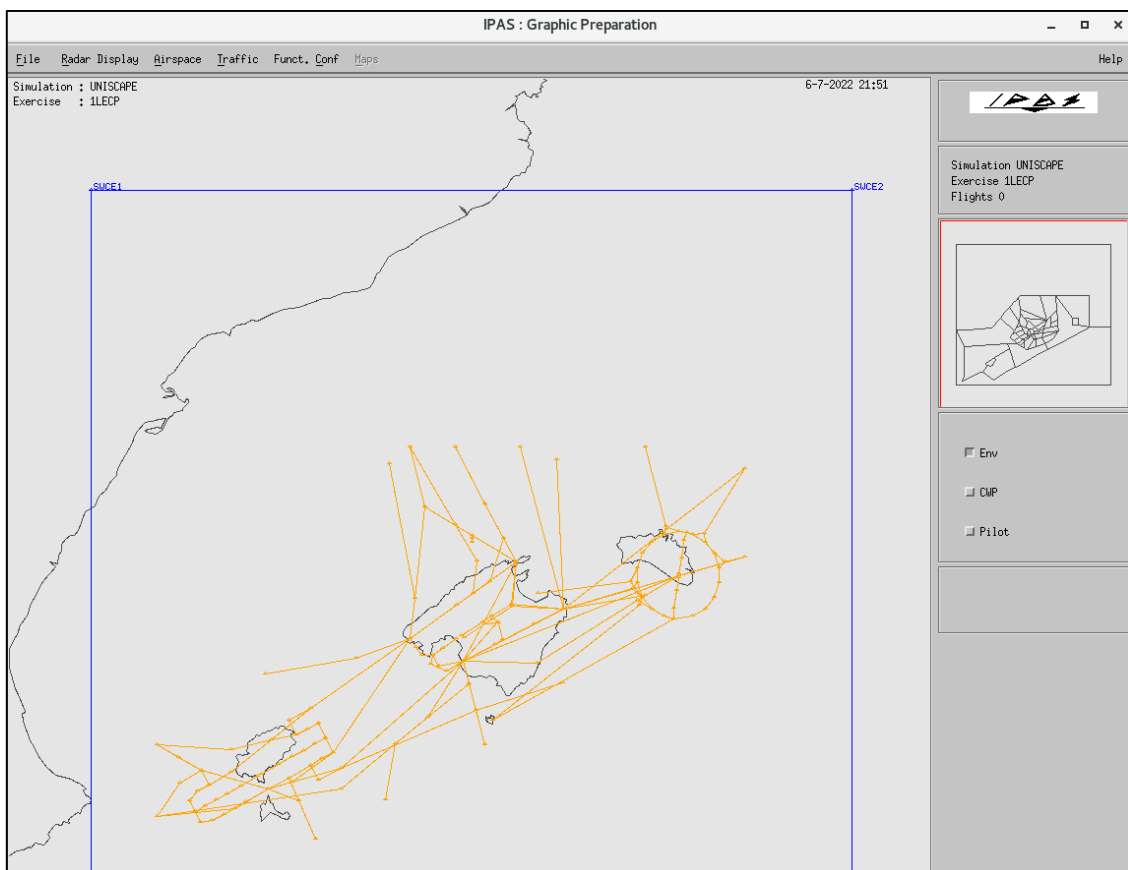


Figura 103: Procedimientos STAR del TMA de Palma

2.2.6.- Volúmenes

Los volúmenes son una parte fundamental del espacio aéreo. Ya se han introducido los puntos de contorno que componen todos los bloques o volúmenes del TMA de Palma. Algunos de estos volúmenes se repiten, pero con diferentes límites de altitud. Por esto, se han nombrado con un código alfanumérico en el que el número define el bloque y la letra la altitud, siendo A la más baja y D la más alta.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	SECTOR	V: VOLUME N	NAME	FULL NAME	BLOQUES/ALT	MLT	MAPO DE BLOQU	MODIFICADOS		
2	APP	V	LECPAPP	PALMA FINAL APPROACH	9	_	ES			
3		A	809LE	+	0	35	A			
4		A	845LE	+	0	35	A			
5		A	831LE	+	0	35	A			
6		A	819LE	+	0	35	A			
7		A	818LE	+	0	35	A			
8		A	811LE	+	0	35	A			
9		A	802LE	+	0	35	A			
10		A	848LE	+	0	35	A			
11		A	810LE	+	0	35	A			
12	DWX	V	LECPDW1	PALMA DEPARTURES WEST	7	_	ES			
13		A	817LE	+	0	95	A			
14		A	818LE	+	35	125	B			
15		A	829LE	+	35	95	A	0	0	ERROR
16		A	828LE	+	35	95	B			
17		A	816LE	+	0	125	A			
18		A	815LE	+	0	145	A			
19		A	819LE	+	35	95	B			
20		V	LECPDW2	PALMA DEPARTURES WEST	7	_	ES			
21		A	849LE	+	0	125	A			
22	A	848LE	+	35	95	B				
23	A	847LE	+	0	95	A				
24	A	846LE	+	0	125	A				
25	A	845LE	+	35	125	B				
26	A	814LE	+	125	145	A	0	145		
27	A	830LE	+	35	95	B				
28	GOX	V	LECPGX	PALMA SECTOR GATOS	31	_	ES			
29		A	834LE	+	165	245	C			
30		A	833LE	+	165	245	B			
31		A	845LE	+	145	245	D			
32		A	846LE	+	145	245	C			
33		A	847LE	+	145	245	C			
34		A	848LE	+	145	245	D			
35		A	849LE	+	145	245	C			
36		A	835LE	+	165	245	B			
37		A	830LE	+	145	245	D			
38		A	829LE	+	165	245	C			
39		A	828LE	+	145	245	D			
40		A	827LE	+	0	245	A			
41		A	825LE	+	145	245	B			
42		A	824LE	+	185	245	B			
43		A	832LE	+	165	245	B			
44		A	831LE	+	165	245	C			
45		A	802LE	+	205	245	C			
46		A	803LE	+	165	245	B			
47		A	804LE	+	165	245	B			
48		A	805LE	+	205	245	B			
49		A	806LE	+	165	245	C			
50		A	810LE	+	205	245	C			
51		A	811LE	+	165	245	C			
52		A	813LE	+	165	245	B			
53		A	814LE	+	145	245	B			
54		A	815LE	+	145	245	B			

Figura 104: Lista de volúmenes del TMA de Palma

De esta manera, se procede a la introducción de los diferentes volúmenes con sus respectivas altitudes. Este es el resultado:

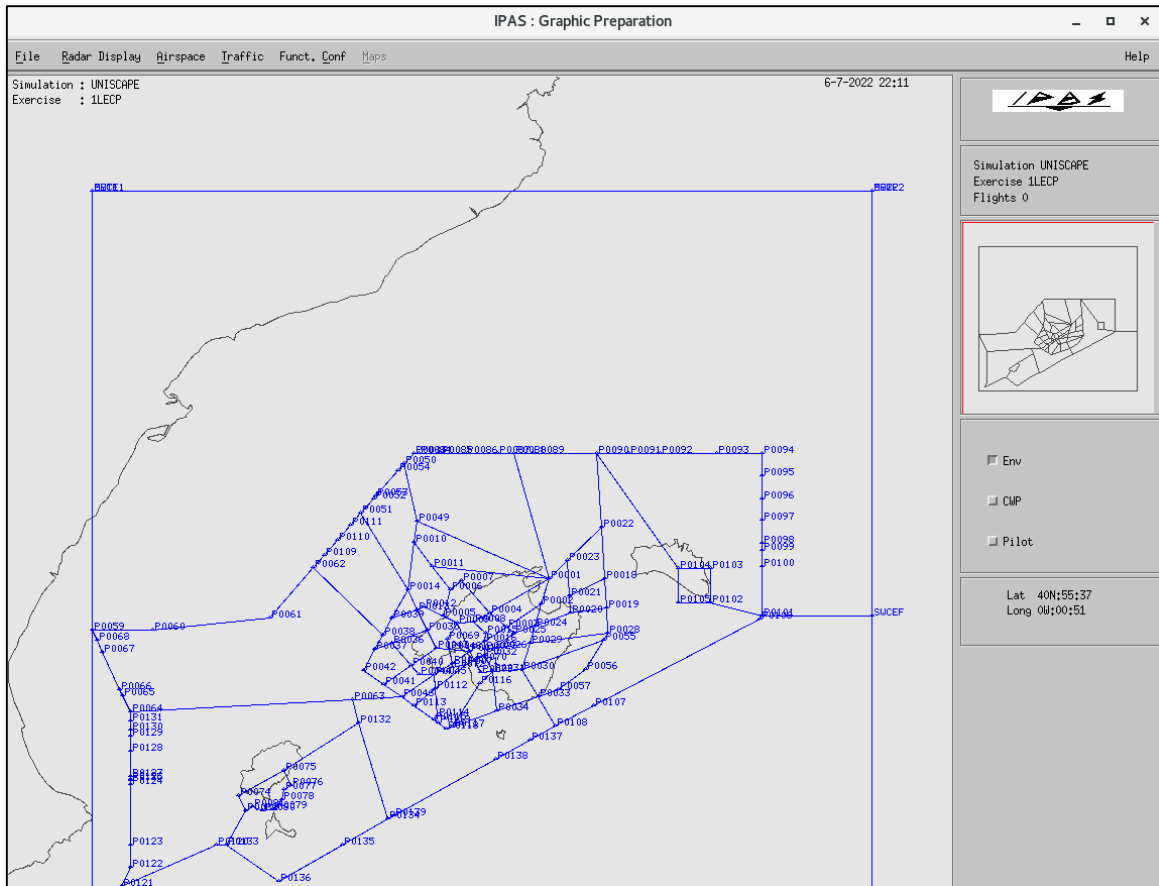


Figura 105: Volúmenes del TMA de Palma

### 2.2.7.- Centros de control y arquitectura

Lo siguiente consistirá en la creación del centro de control y de la arquitectura de la simulación. En este caso se crea un centro de software que da cobertura a toda el área de simulación. Posteriormente se crea un autopiloto por cada sector que se va a introducir, en este caso 8, ya que los de alimentación no cuentan, para luego crear un par de controladores EXECUTIVE y PLANNING para cada sector del TMA de Palma y dos controladores FEED\_HYBRID, uno por cada sector de alimentación.

### 2.2.8.- Sectores

Ahora se procederá a la creación de los diferentes sectores que componen el TMA. En ellos, se definirán los volúmenes que lo componen, los controladores al cargo y el autopiloto enlazado a este. La configuración tomada para la simulación es la 8A. Sin embargo, hay errores en la base de datos del AIP que componen el espacio aéreo, generado así huecos sin controlar y errores en la simulación. Para ello, se ha hecho un análisis hueco a hueco para poder solucionar los errores.

Los holes que aparecen se han analizado y solucionado en orden cronológico según aparecen a continuación. Es importante de mencionar que, según el orden que sigas, aparecerán nuevos holes y el procedimiento no será exactamente el mismo, pero sí similar. A lo largo de todo el proceso se ha ido contrastando la información con la web INSIGNIA de ENAIRE, en la cual los límites están bien establecidos:

**836LE:** Ibiza app consta de tres volúmenes (836LE, 870L y 871LE). De los cuales 870LE y 871LE tienen como límites 000 y 085, pero el volumen 836LE tiene como límites 025 y 085, por lo que ESCAPE arroja un hole de 000 a 025 que tiene como polígono el mismo que el volumen 836LE. En este caso se entiende que en la base de datos DDR2 de EUROCONTROL no figura la propia torre de Ibiza, por lo tanto, debemos de crear un nuevo centro de control, IBIZATWR, el cual se encontrará enlazado con el sector del espacio aéreo formado por el mismo polígono que el volumen 836LE con límites 000 y 025.

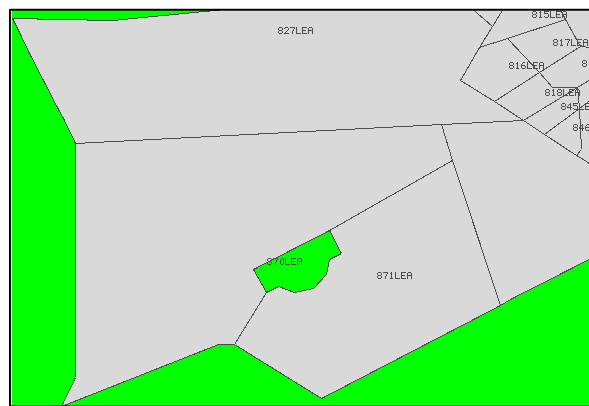


Figura 106: Error de hole 1

**843LE:** Algo similar ocurre en el sector MXX (Palma Sector Menorca). De nuevo aparece un hole con la forma del polígono 843LE, el cual posee sus límites en 065 y 245, mientras que sus volúmenes colindantes lo hacen con límites 000 y 245. Por lo que, de nuevo, se debe crear un nuevo centro de control, MENORCATWR, el cual se encontrará enlazado con el sector del espacio aéreo formado por el mismo polígono que el volumen 843LE con límites 000 y 065.

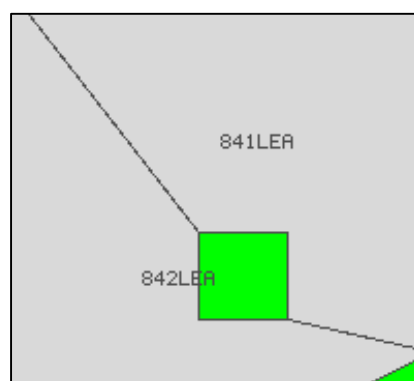
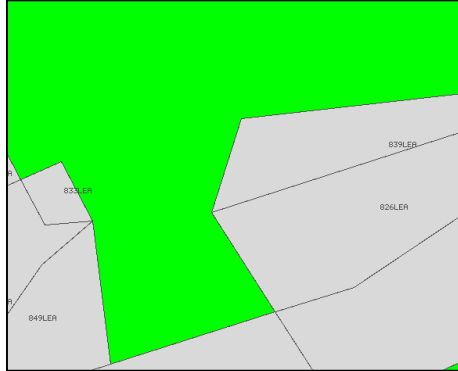
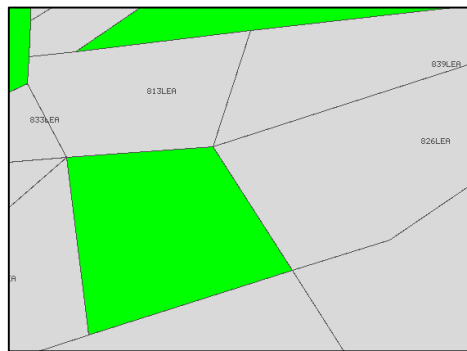


Figura 107: Error de hole 2

**813LE:** En este caso aparece un hole de 000 a 085 en el volumen 813LE. Este hole se corresponde con sector L2W (Palma Arrivals South). Fijándonos en sus volúmenes colindantes (833LE y 839L) observamos que poseen límites 000 y 165. Por lo tanto, se intuye que el volumen 813LE perteneciente al sector L2W con límites 085 y 165 debería de poseer los límites 000 y 165, al igual que sus volúmenes vecinos.

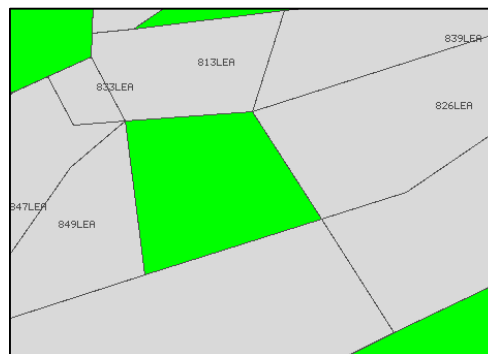


*Figura 108: Error de hole 3*



*Figura 109: Error de hole 4*

**814LE:** En este caso aparece un hole de 000 a 125 en el volumen 814LE. El volumen 814LE contiene una parte con límites 125 y 145 en el sector DWX (Palma Departures West) y otra parte con límites 145 y 245. Para averiguar a qué sector debería de pertenecer el espacio faltante nos fijamos en sus volúmenes cercanos (849LE, 813LE, 826LE...). Tras un breve análisis, descubrimos que el límite inferior del volumen perteneciente al sector DWX debería de tener como límite inferior 000 y no 125.



*Figura 110: Error de hole 5*

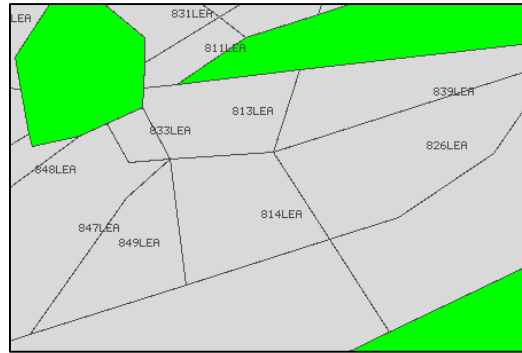


Figura 111: Error de hole 6

**832LE:** En este caso aparece un hole de 000 a 105 en el volumen 832LE. El volumen 832LE contiene una parte con límites 105 y 165 en el sector L2W (Palma Arrivals South West) y otra parte con límites 165 y 245 en el sector GOX (Gatos). Para averiguar a qué sector debería de pertenecer el espacio faltante nos fijamos en sus volúmenes cercanos (813LE, 813LE, 826LE...). Tras un breve análisis, descubrimos que el límite inferior del volumen perteneciente al sector L2W debería de tener como límite inferior 000 y no 105.

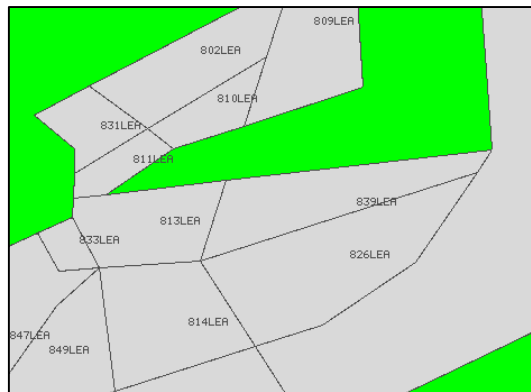


Figura 112: Error de hole 7

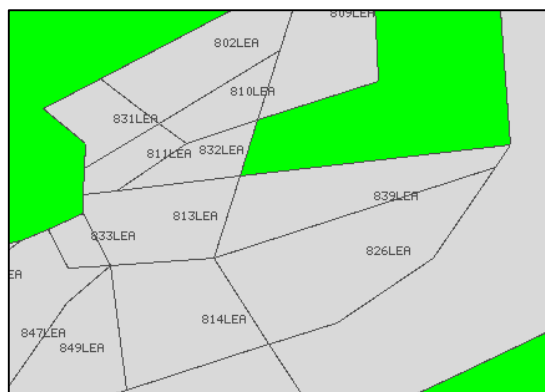
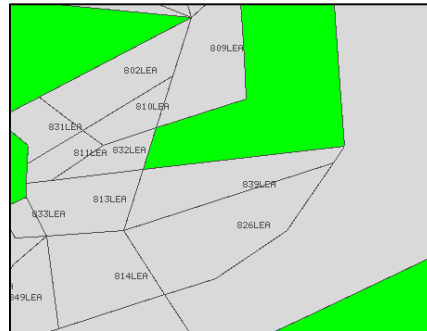
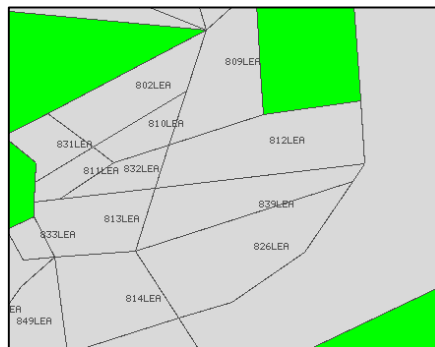


Figura 113: Error de hole 8

**812LE:** En este caso aparece un hole de 000 a 105 en el volumen 812LE. El volumen 812LE contiene una parte con límites 105 y 205 en el sector L2W (Palma Arrivals South West) y otra parte con límites 205 y 245 en el sector MXX (Menorca). En este caso ocurre lo mismo que con el volumen anterior, por lo que el límite inferior del volumen perteneciente al sector L2W debería de tener como límite inferior 000 y no 105.

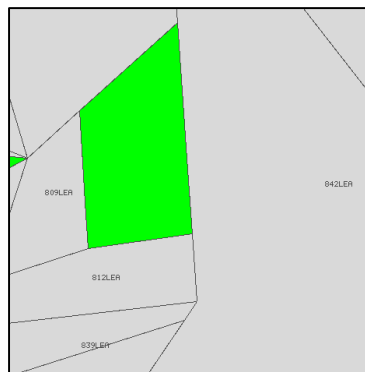


*Figura 114: Error de hole 9*



*Figura 115: Error de hole 10*

**807LE:** En este caso aparece un hole de 000 a 145 en el volumen 807LE. El volumen 807LE contiene una parte con límites 145 y 205 en el sector L2W (Palma Arrivals South West) y otra parte con límites 205 y 245 en el sector MXX (Menorca). En este caso ocurre lo mismo que con el volumen anterior, por lo que el límite inferior del volumen perteneciente al sector L2W debería de tener como límite inferior 000 y no 145.



*Figura 116: Error de hole 11*

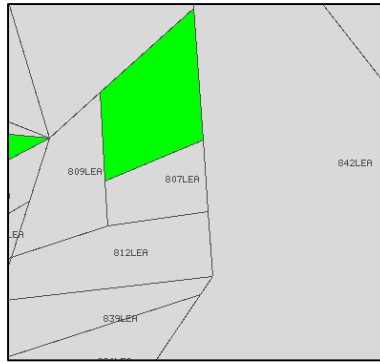


Figura 117: Error de hole 12

**808LE:** En este caso aparece un hueco de 000 a 165 en el volumen 808LE. El volumen 808LE contiene una parte con límites 165 y 205 en el sector L2W (Palma Arrivals South West) y otra parte con límites 205 y 245 en el sector MXX (Menorca). En este caso ocurre lo mismo que con el volumen anterior, por lo que el límite inferior del volumen perteneciente al sector L2W debería de tener como límite inferior 000 y no 165.

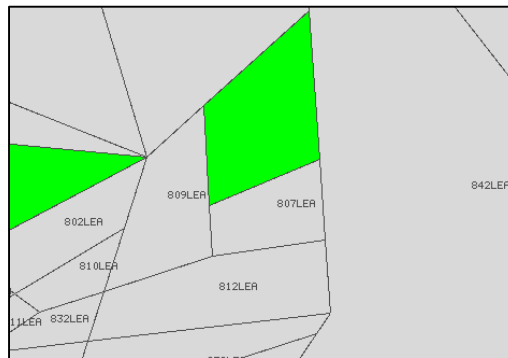


Figura 118: Error de hole 13

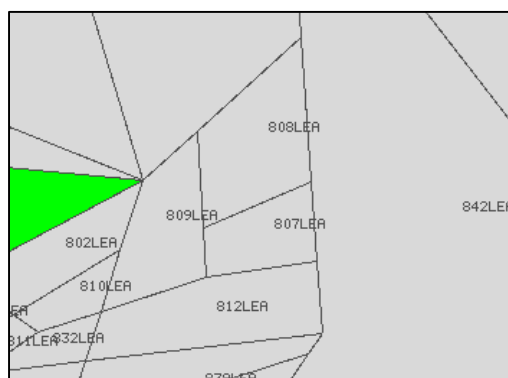


Figura 119: Error de hole 14

**804LE:** En este caso aparece un hueco de 000 a 145 en el volumen 804LE. El volumen 804LE contiene una parte con límites 145 y 165 en el sector L1W (Palma Arrivals North West) y otra parte con límites 165 y 245 en el sector GOX (Gatos). En este caso ocurre lo mismo que con



el volumen anterior, por lo que el límite inferior del volumen perteneciente al sector L1W debería de tener como límite inferior 000 y no 145.

**803LE:** En este caso aparece un hole de 000 a 105 en el volumen 803LE. El volumen 803LE contiene una parte con límites 105 y 165 en el sector L1W (Palma Arrivals North West) y otra parte con límites 165 y 245 en el sector GOX (Gatos). En este caso ocurre lo mismo que con el volumen anterior, por lo que el límite inferior del volumen perteneciente al sector L1W debería de tener como límite inferior 000 y no 105.

**805LE:** En este caso aparece un hole de 000 a 125 en el volumen 805LE. El volumen 805LE contiene una parte con límites 125 y 205 en el sector L1W (Palma Arrivals North West) y otra parte con límites 205 y 245 en el sector GOX (Gatos). En este caso ocurre lo mismo que con el volumen anterior, por lo que el límite inferior del volumen perteneciente al sector L1W debería de tener como límite inferior 000 y no 125.

**806LE:** En este caso aparece un hole de 000 a 105 en el volumen 806LE. El volumen 806LE contiene una parte con límites 105 y 165 en el sector L1W (Palma Arrivals North West) y otra parte con límites 165 y 245 en el sector GOX (Gatos). En este caso ocurre algo parecido al volumen anterior, pero con la diferencia de que en este caso hay que dejar un espacio abajo perteneciente a torre de control de Mallorca, por lo que el límite inferior del volumen perteneciente al sector L1W debería de tener como límite inferior 035 y no 125.

**829LE:** En el caso del volumen 829 pertenece a un sector erróneo. Tiene límites 35 y 95 en DWX, pero realmente debería de tener 35 y 165 en L1W.

**834LE:** En este caso aparece un hole de 000 a 105 en el volumen 834LE. El volumen 834LE contiene una parte con límites 105 y 165 en el sector L2W (Palma Arrivals South West) y otra parte con límites 165 y 245 en el sector GOX (Gatos). En este caso ocurre lo mismo que con el volumen 807LE, por lo que el límite inferior del volumen perteneciente al sector L2W debería de tener como límite inferior 035 y no 105.

**811LE:** En este caso aparece un hole de 035 a 105 en el volumen 811LE. El volumen 811LE contiene una parte con límites 105 y 165 en el sector L2W (Palma Arrivals South West) y otra parte con límites 165 y 245 en el sector GOX (Gatos). En este caso ocurre lo mismo que con el volumen anterior, por lo que el límite inferior del volumen perteneciente al sector L2W debería de tener como límite inferior 035 y no 105.

**806LE, 828LE, 829LE, 830LE y 834LE:** En el caso de estos volúmenes aparecen 5 holes conjuntos de 000 a 035. Esto se debe a que falta un sector que contenga estos volúmenes con límites 000 y 035 que será PALMA CONTROL TOWER (PTX).

**831LE:** En este caso aparece un hole de 035 a 105 en el volumen 831LE. El volumen 831LE contiene una parte con límites 105 y 165 en el sector L1W (Palma Arrivals North West) y otra parte con límites 165 y 245 en el sector GOX (Gatos). En este caso ocurre algo parecido al volumen 806LE, por lo que el límite inferior del volumen perteneciente al sector L1W debería de tener como límite inferior 035 y no 105.

**802LE:** En este caso aparece un hole de 035 a 145 en el volumen 802LE. El volumen 802LE contiene una parte con límites 145 y 205 en el sector L1W (Palma Arrivals North West) y otra parte con límites 205 y 245 en el sector GOX (Gatos). En este caso ocurre algo parecido al volumen anterior, por lo que el límite inferior del volumen perteneciente al sector L1W debería de tener como límite inferior 035 y no 145.

**809LE:** En este caso aparece un hole de 035 a 145 en el volumen 810LE. El volumen 810LE contiene una parte con límites 145 y 205 en el sector L2W (Palma Arrivals South West) y otra parte con límites 205 y 245 en el sector GOX (Gatos). En este caso ocurre lo mismo que con el volumen 834LE, por lo que el límite inferior del volumen perteneciente al sector L2W debería de tener como límite inferior 035 y no 145.

**810LE:** En este caso aparece un hole de 035 a 145 en el volumen 809LE. El volumen 809LE contiene una parte con límites 145 y 205 en el sector L2W (Palma Arrivals South West) y otra parte con límites 205 y 245 en el sector GOX (Gatos). En este caso ocurre lo mismo que con el volumen anterior, por lo que el límite inferior del volumen perteneciente al sector L2W debería de tener como límite inferior 035 y no 145.

Una vez hecho esto, siguen apareciendo 3 holes alrededor del TMA a lo largo de todo el rango de altitudes (000 245). Tras un análisis y comparar nuestro caso con el caso ejemplo vemos que efectivamente el área de simulación debe de ser cuadrangular y que los sectores se tienen que adaptar a esta, suponemos que para mejorar el rendimiento de la simulación. Por lo que la solución tomada ha sido crear 3 volúmenes más (FEED1, FEED2 y FEED3) con límites 000 y 245 y asignarlos a 3 nuevos sectores con los mismos nombres respectivamente.

De esta manera ya quedan eliminados todos los errores por holes y overlaps que aparecían en el visualizador.

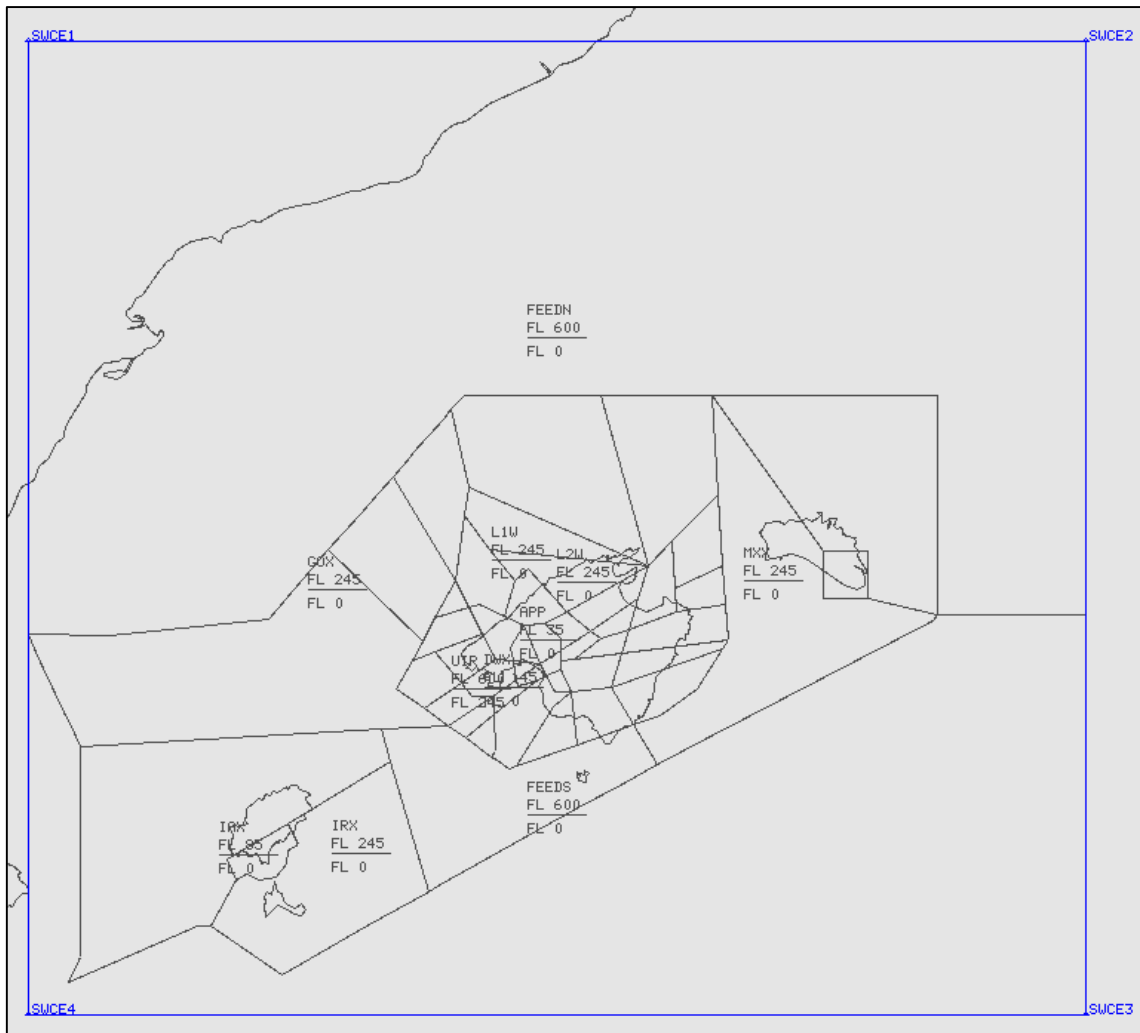


Figura 120: Sectores del TMA de Palma

### 2.2.9.- Aerovías y áreas STCA

Los datos para la introducción de las aerovías se han encontrado en los archivos AIP:

- *LE\_ENR\_3\_1\_en.html*
- *LE\_ENR\_3\_3\_en.html*

Al fin y al cabo, prácticamente todos los puntos ya habían sido introducidos con los de navegación, pero al no duplicarse la data y no solaparse se vuelve a importar todo para que sí que se añadan los puntos antes no incluidos.

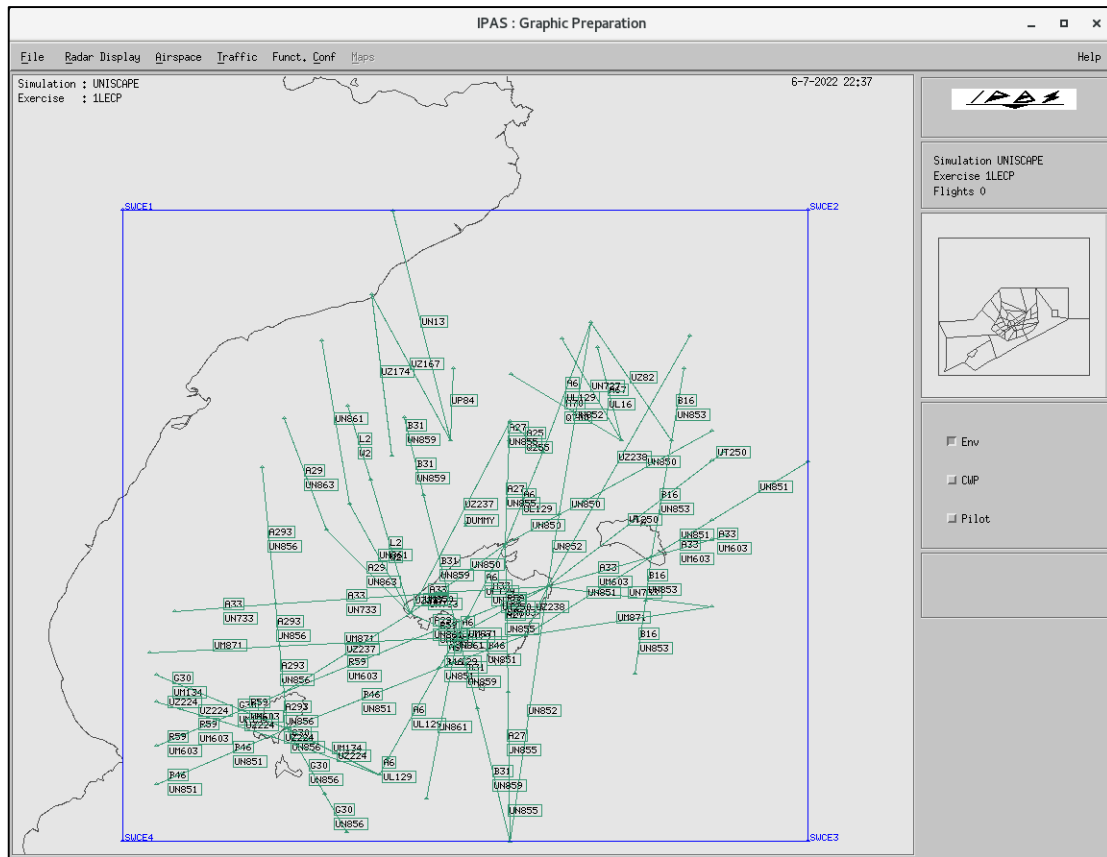


Figura 121: Aerovías del TMA de Palma

Por último, para esta parte, se han creado dos tipos de áreas STCA, dependiendo de si el sector es de proximidad o no, y se han asignado a los diferentes sectores creados.

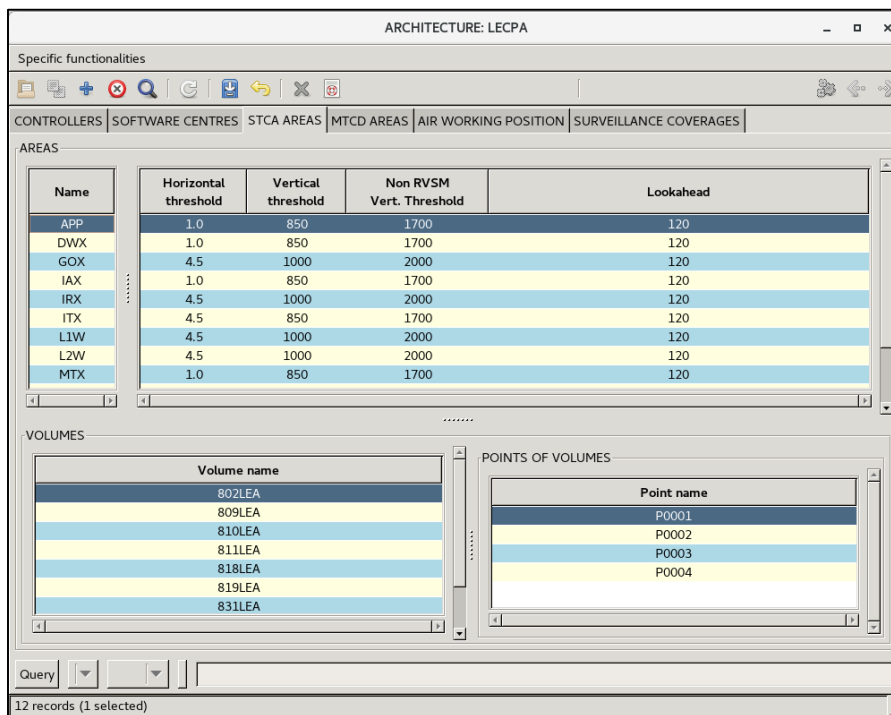


Figura 122: Áreas STCA del TMA de Palma

## 2.3.- TRÁFICO: Trayectorias y planes de vuelo

El tráfico va a ser la parte fundamental de la simulación, el objeto del análisis, por lo tanto, se intentará adquirir la información lo más precisa posible para que los resultados sean acertados. Dentro de la configuración 8ª, se ha usado la configuración oeste en la mayoría de vuelos para todos los aeropuertos, ya que la mayor parte del tiempo el viento mantiene la dirección.

Para la obtención de datos del tráfico aéreo se ha acudido al sitio web <https://www.flightradar24.com/>. Con los permisos correctos, se pueden reproducir días pasados y el tráfico de estos. Además, contiene información como los perfiles verticales de las aeronaves, los modelos de estas, los recorridos y los tiempos. Se ha creado una base de datos propia con la información necesaria para su introducción en IPAS.

Este es un ejemplo de una aeronave en flightradar24:

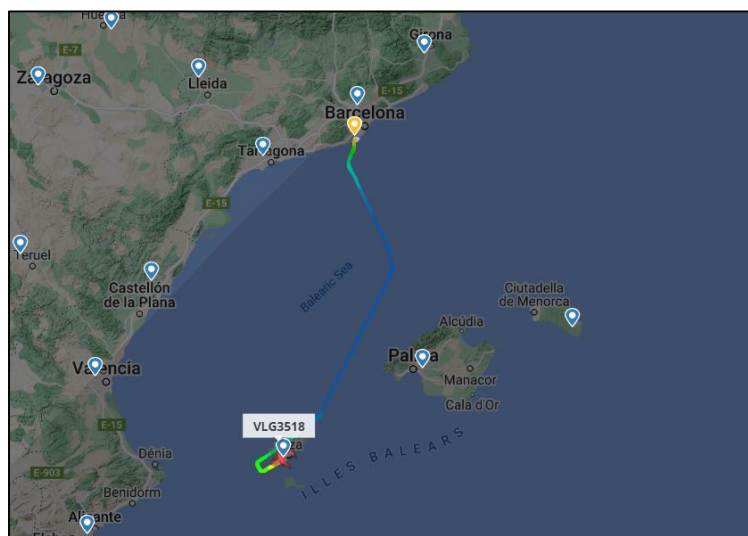


Figura 123: Captura flightradar24

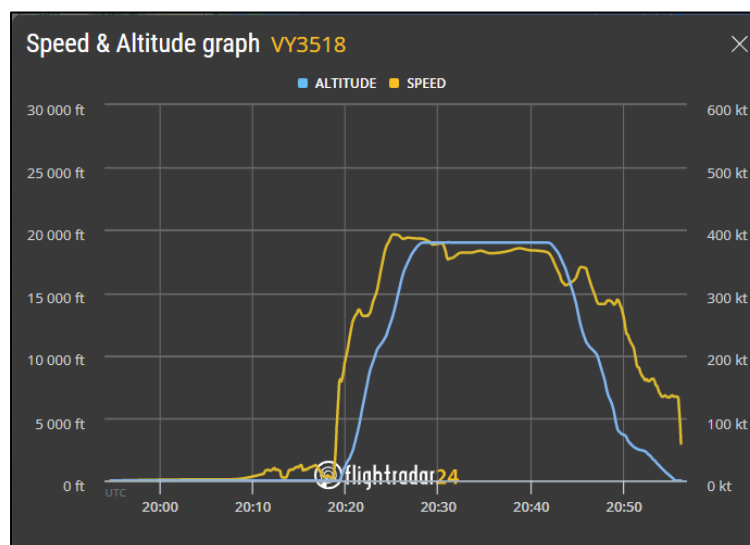


Figura 124: Captura flightradar24 2



TRAFFIC: LECPT

Specific functionalities

FLIGHTS | DATA LINK FLIGHT

FLIGHTS

Callsign	Defined for	Flight path	Start time	Adep	Ades	Real A/C	A/C model	BADA 4 version	Entry point
3O492	AIR	RIPAL_GERVU	12:49:00	LIRN	GMMN	A320	A320	00	
5O1026	AIR	MAMOM_LAPIT	13:37:00	DAAG	LFLL	B737	B737	00	
A3701	AIR	ORVUS_RIPAL	14:13:00	LEMD	LGAV	A320	A320	00	
AF1384	AIR	SISMO_GENIO	12:13:00	LFPG	DAAG	A320	A320	00	
AF306	AIR	SISMO_GENIO	12:20:00	LFPG	DRRN	A332	A332	00	
AT2891	AIR	RIPAL_GERVU	12:55:00	LROP	GMMN	B738	B738	00	
AT940	AIR	BRUNO_RIPAL	13:48:00	GMMN	LIRF	B738	B738	00	
BA75	AIR	LARPA_GENIO	12:53:00	EGLL	DNMM	B772	B772	00	
BA8461	BOTH	BCN_CORDA4N	12:05:00	EGLC	LEIB	E190	E190		
BA8462	BOTH	EPA2E_MARTA	13:25:00	LEIB	EGLC	E190	E190		
BA8483	BOTH	LUKEV_LORE1PL	13:50:00	EGLC	LEPA	E190	E190		
BA8484	BOTH	PTC2A_CHELY	15:00:00	LEPA	EGLC	E190	E190		

PATHS

SID name	STAR name

PATH SECTION

Point name	Airway name	sub flight path
RIPAL		
MORSS		
MHN		

Query

95 records (1 selected) - Path used in 1 exercise(s), 1 traffic(s) and 4 flight(s) of the current traffic

Figura 126: Tráfico del TMA de Palma

### 2.4.- Restricciones ATC y condiciones meteorológicas

Para el caso de las restricciones, simplemente se han creado las mínimas necesarias para la simulación, una de llegada y otra de salida por cada pista de cada aeropuerto, como especifica el manual.

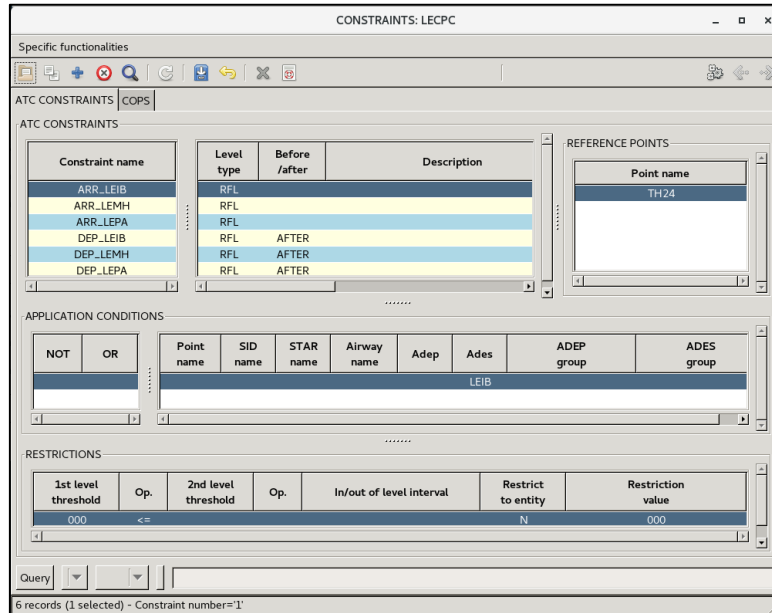


Figura 127: Restricciones mínimas para simulación para los aeropuertos del TMA de Palma

Por otro lado, las condiciones meteorológicas de ese día se han tomado del sitio web <https://es.windfinder.com/>.

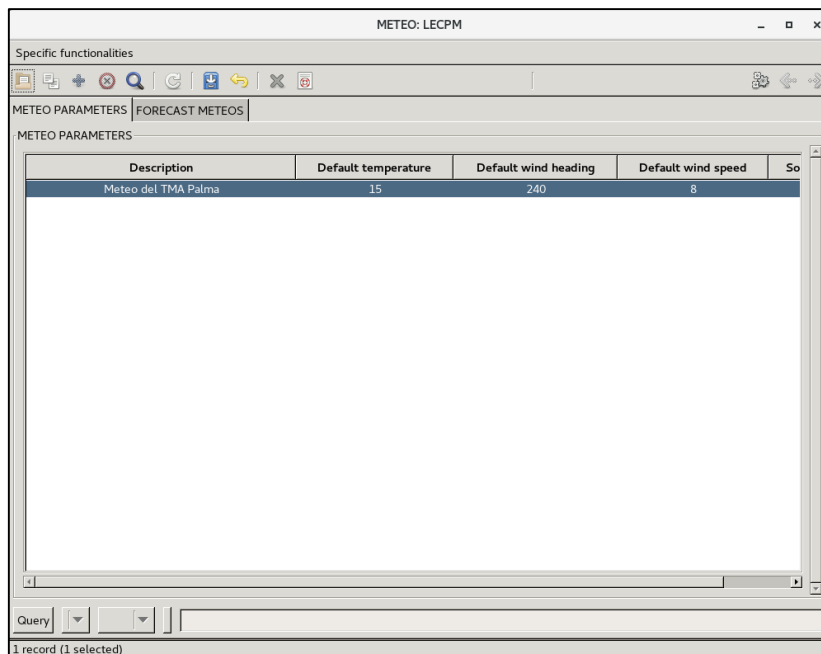


Figura 128: Condiciones meteorológicas del TMA de Palma, día de referencia



## 2.5.- Validación final

Por último, únicamente quedaría comprobar que todo el ejercicio ha sido introducido correctamente y que la generación de las trayectorias y los perfiles verticales de las aeronaves no arroja errores.

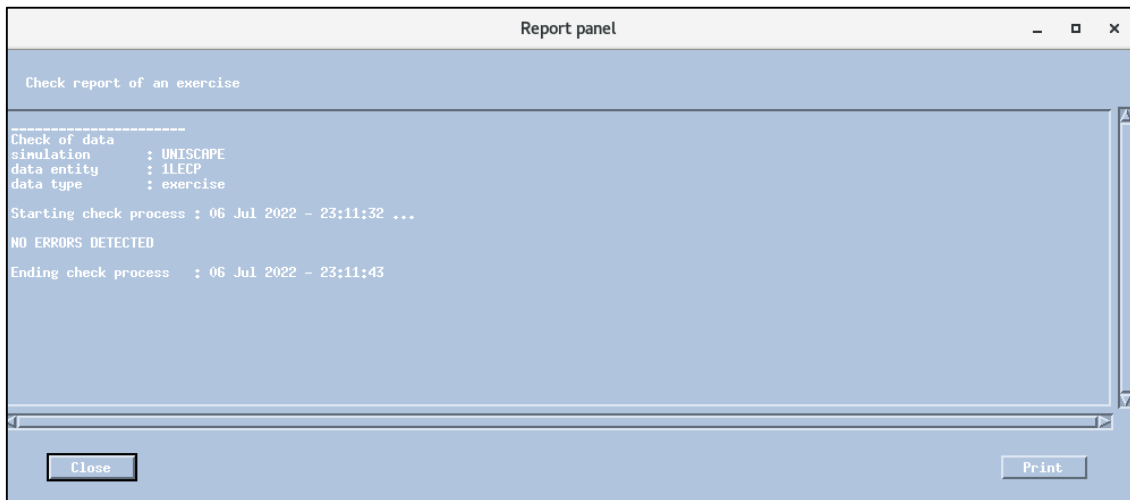


Figura 129: Mensaje sin errores de CHECK final

La comprobación no arroja errores. Lo siguiente será la entrega de estos datos a la base de datos general entre máquinas.

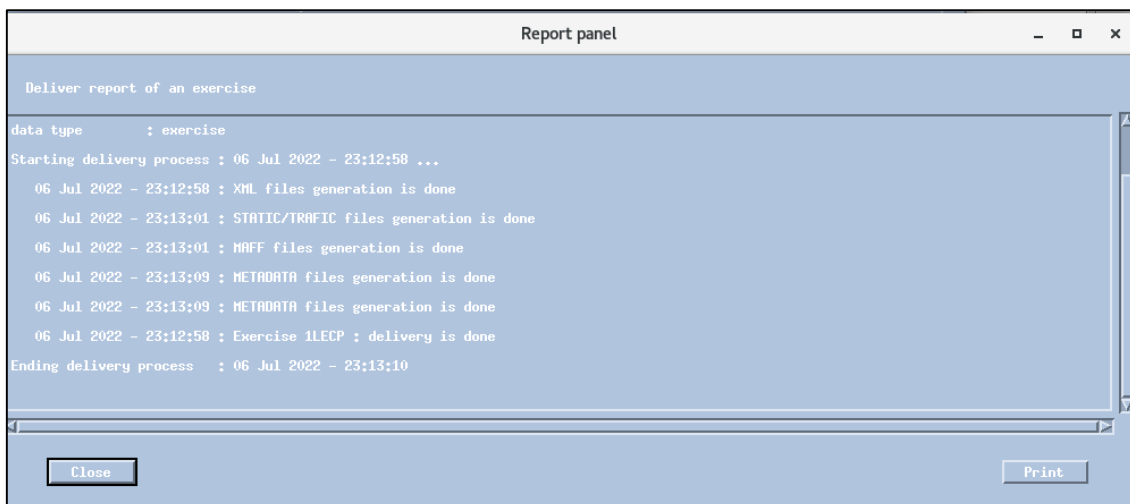


Figura 130: Mensaje sin errores de VALIDATE final

Toda la entrega de data ha sido correcta, por lo que solo quedaría usar la herramienta PVP para la comprobación del tráfico y la generación de las trayectorias y perfiles.

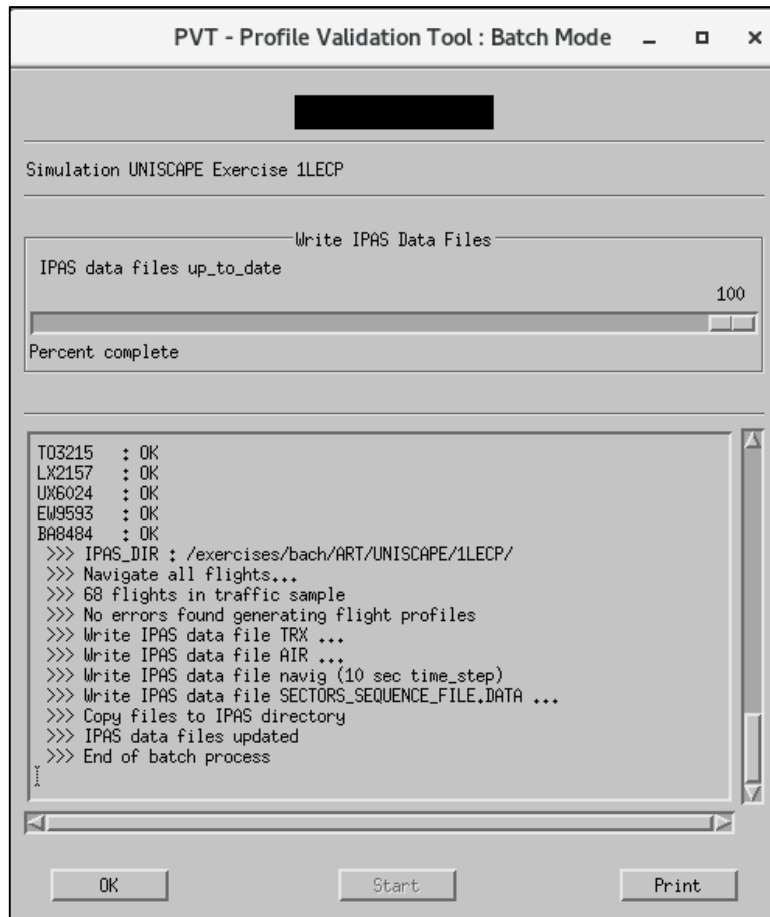


Figura 131: Mensaje sin errores PVT 1

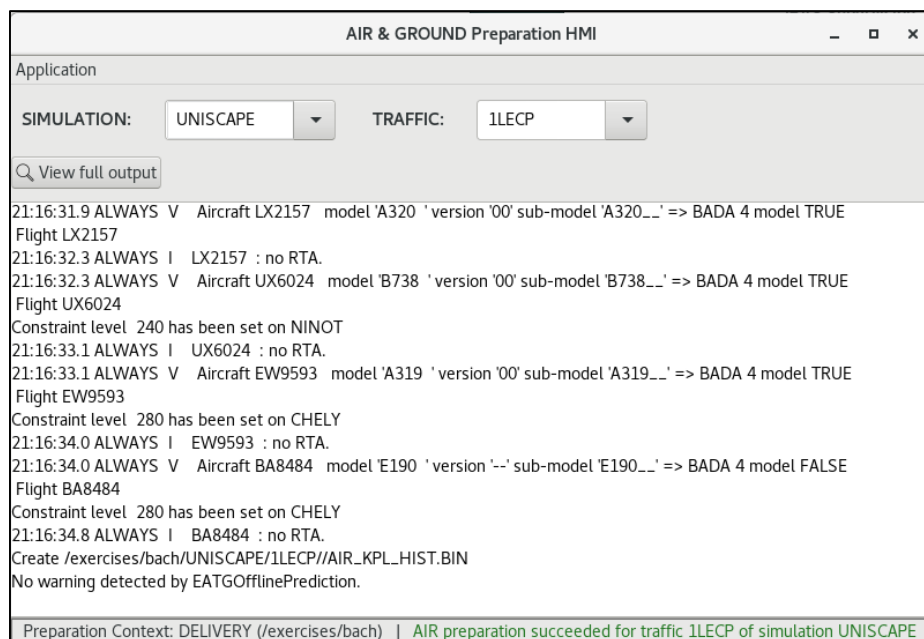


Figura 132: Mensaje sin errores PVT 2

Todo está listo para el uso de la herramienta ART ANALYSIS.

Antes de la obtención de resultados se hará una última comprobación con la propia herramienta ART ANALYSIS, ya que puede darse el caso de que el perfil vertical de una aeronave no haya sido generado correctamente. Si usamos la herramienta para obtener los perfiles verticales mediante la ventana *Traffic*, podemos observar como los perfiles de aquellas aeronaves que entran en el espacio aéreo a FL140 o superior, aparentemente, han sido generados de manera correcta. Sin embargo, cuando observamos los perfiles de los aviones que despegan de nuestro espacio aéreo o que entran a él a nivel FL45, podemos identificar que sus trayectorias no se han generado correctamente, ya que:

- Existen aeronaves que despegan desde el espacio aéreo simulado, salen de él y no alcanzan el RFL establecido en *Traffic*.
- Existen aeronaves que despegan y aterrizan en el espacio aéreo que no alcanzan el RFL establecido en *Traffic* o directamente no se elevan en absoluto.
- Existen aeronaves que llegan desde BCN a FL45 que no alcanzan el RFL, por lo que se mantienen a la altitud de entrada y posteriormente comienzan el descenso.

Cada uno de estos tres “errores” se deben de tratar de manera diferente, ya que estos se generan debido al funcionamiento del propio software de ESCAPE y en cada caso tiene soluciones diferentes.

Hay una conclusión que se obtiene de todos los tipos de aeronaves mal generadas, y es que el alcance del RFL no se genera automáticamente, sino que en la simulación con controlador y autopiloto se solicita dicho cambio de altitud y es el usuario el que debe de dar dicho permiso. Por lo que, si se quiere que dichos cambios de altitud estén también automatizados, se deben de especificar en las ATC Constraints o en los procedimientos SID. En este caso se hará uso de la segunda opción, ya que es más sencilla y fácil de entender y la diferencia entre opciones no es relevante para el estudio que se va a realizar.

Si se observa la aeronave UX6048, se puede contrastar información que arroja las diferentes herramientas: FlightAnimation dentro de ART ANALYSIS, parámetro TRAFFIC y SIDS dentro de parámetro AIRSPACE.

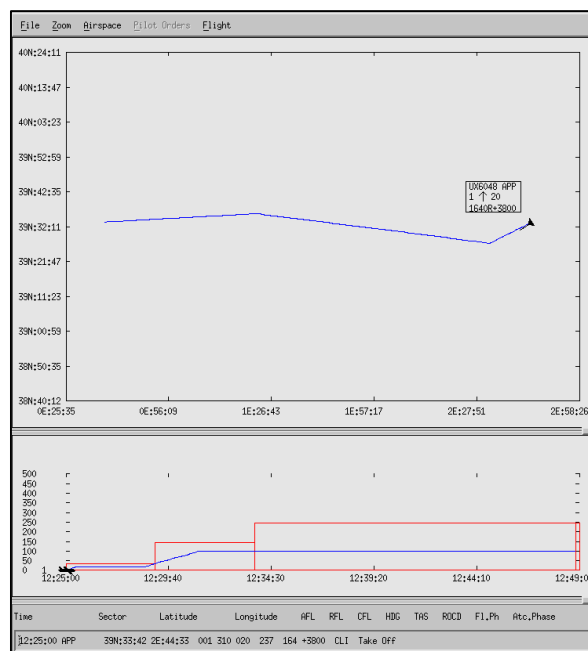


Figura 133: Aeronave mal generada 1

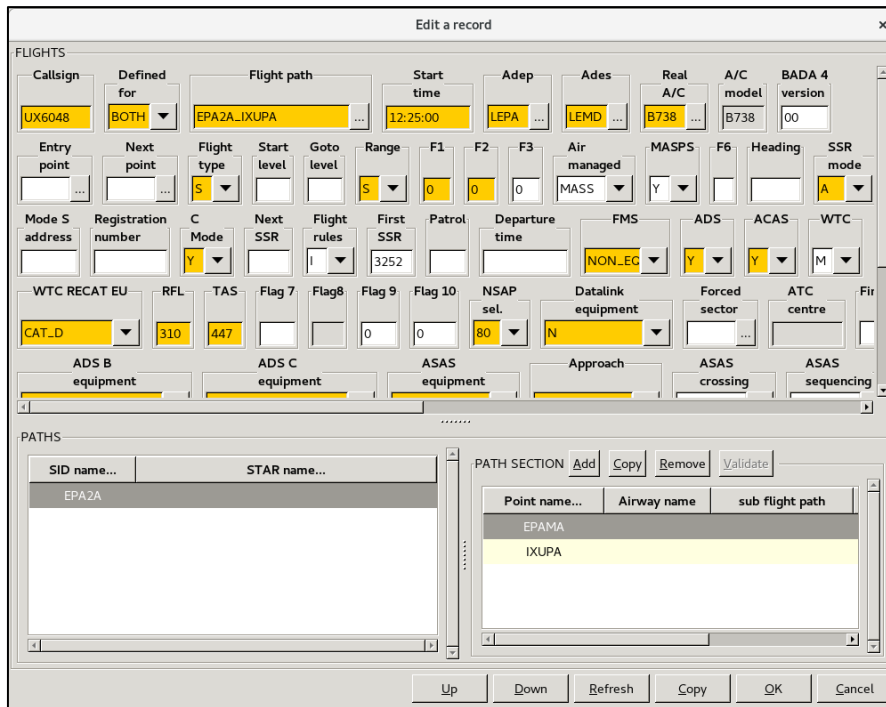


Figura 134: Modificación de aeronave mal generada 1

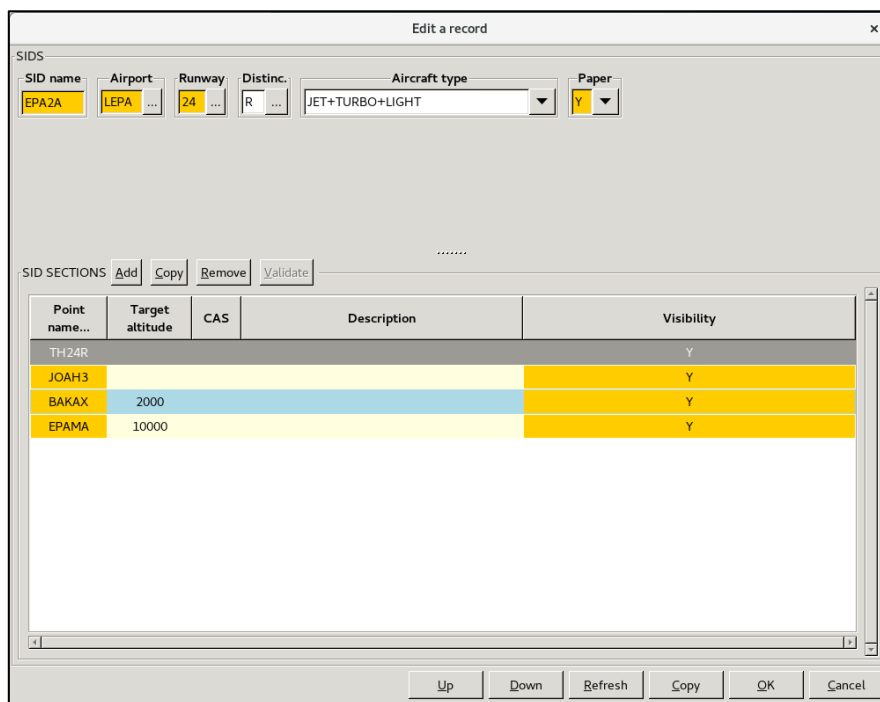


Figura 135: Modificación de procedimiento de aeronave mal generada 1.1

Comparando toda la información obtenida, se puede observar como efectivamente en el perfil vertical se está teniendo en cuenta la altitud establecida en el procedimiento SID de Airspace y no el RFL establecido en Traffic. Por lo que se procederá a establecer el nivel del RFL en el procedimiento SID, para automatizar la subida hasta la altitud objetivo, prescindiendo del permiso del controlador dinámico. Esto conlleva que haya que elegir un RFL para todas las aeronaves que

realicen dichos procedimientos, las cuales se elevarán hasta la altitud establecida independientemente del aeropuerto de destino fuera de nuestro espacio aéreo. Por lo que se establecerá un nivel de vuelo FL280, una altitud media entre las aeronaves que van a ascender hasta UIR o aquellas que se quedan en FIR.

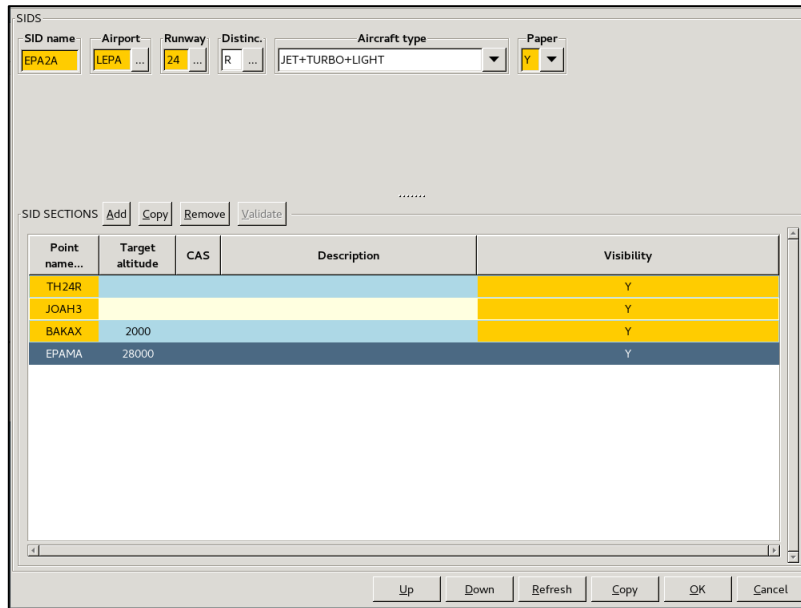


Figura 136: Modificación de procedimiento de aeronave mal generada 1.2

Después de esto, hay que volver a hacer el check y delivery del ejercicio, además de generar las trayectorias con PVT. Una vez hecho esto, se volverá a la herramienta ART ANALYSIS a ver si el perfil vertical es correcto en este caso:

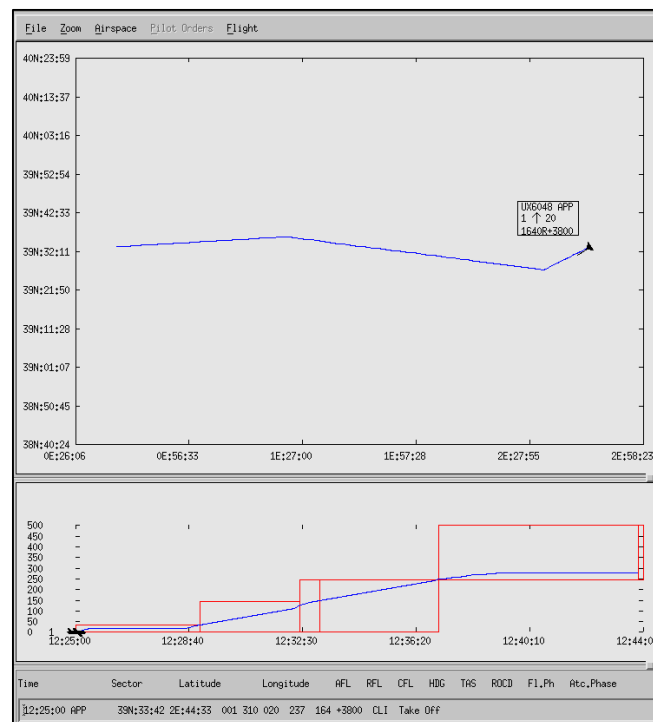


Figura 137: Aeronave mal generada 1 modificada

Se ve cómo el perfil en este caso sí que se ha generado correctamente, por lo que se repetirá el mismo proceso para el resto de aeronaves que despeguen del espacio aéreo y salgan posteriormente de él. Con esto, se tendrían automatizadas el primer tipo de trayectorias antes mal generadas. Ahora, estas están generalizadas, pero sí más próximas a la realidad, para así realizar un mejor análisis.

En el caso de los vuelos del segundo tipo, esto son aquellos despegan y aterrizan en el espacio aéreo que no alcanza el RFL establecido en *Traffic* o directamente no se elevan en absoluto. Un ejemplo de ello es el vuelo IB8480:

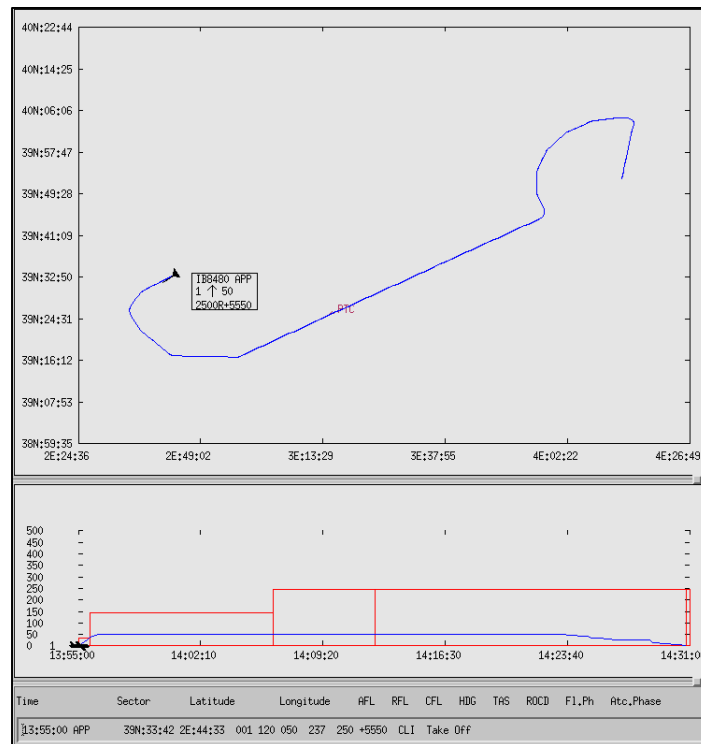


Figura 138: Aeronave mal generada 2

Figura 139: Modificación de aeronave mal generada 2

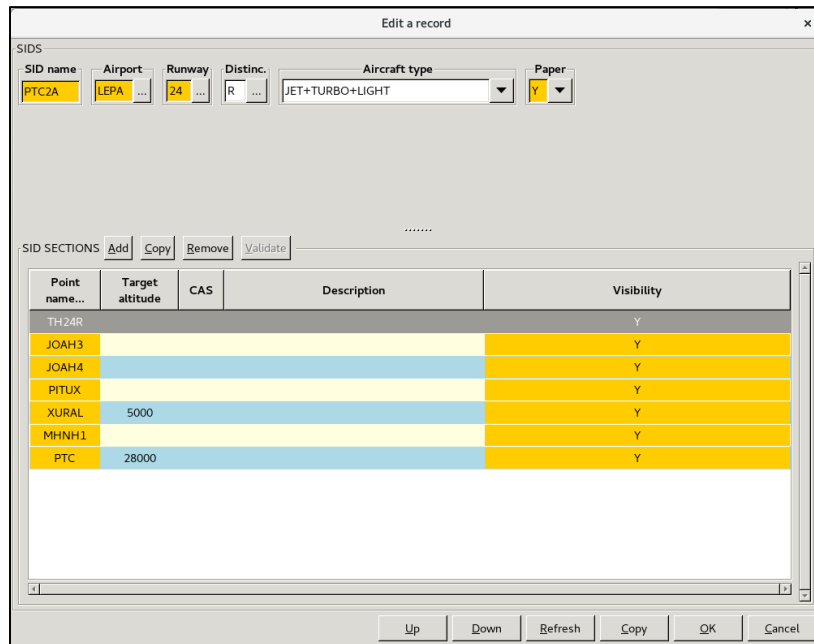


Figura 140: Modificación de procedimiento de aeronave mal generada 2.1

Como se puede observar, al igual que el tipo anterior, la aeronave no alcanza el RFL en ningún momento. Sin embargo, en este caso sí hemos especificado una altitud de 28000 pies para el waypoint PTC en el procedimiento SID PTC2A, pero este tampoco se aplica. Esto es debido a que los últimos waypoints de las SIDs de este grupo de aeronaves son al mismo tiempo los primeros waypoints de las STARs que realizan y las altitudes adjuntas de los procedimientos STARs poseen mayor prioridad que los procedimientos SIDs. Por lo que, la mejor solución en este caso es asignar un nivel de vuelo FL100 al penúltimo waypoint de los SIDs:

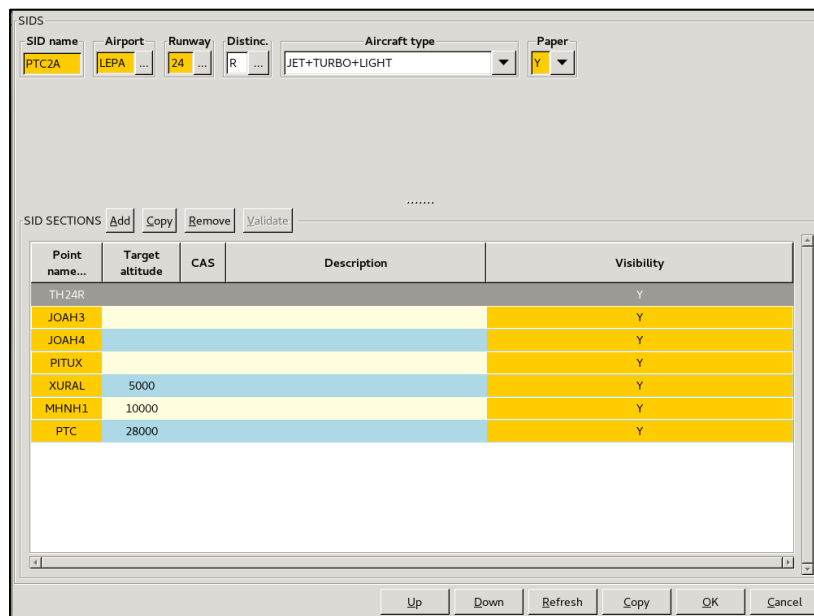


Figura 141: Modificación de procedimiento de aeronave mal generada 2.2

De esta manera, el nuevo perfil de la aeronave IB8480 es:

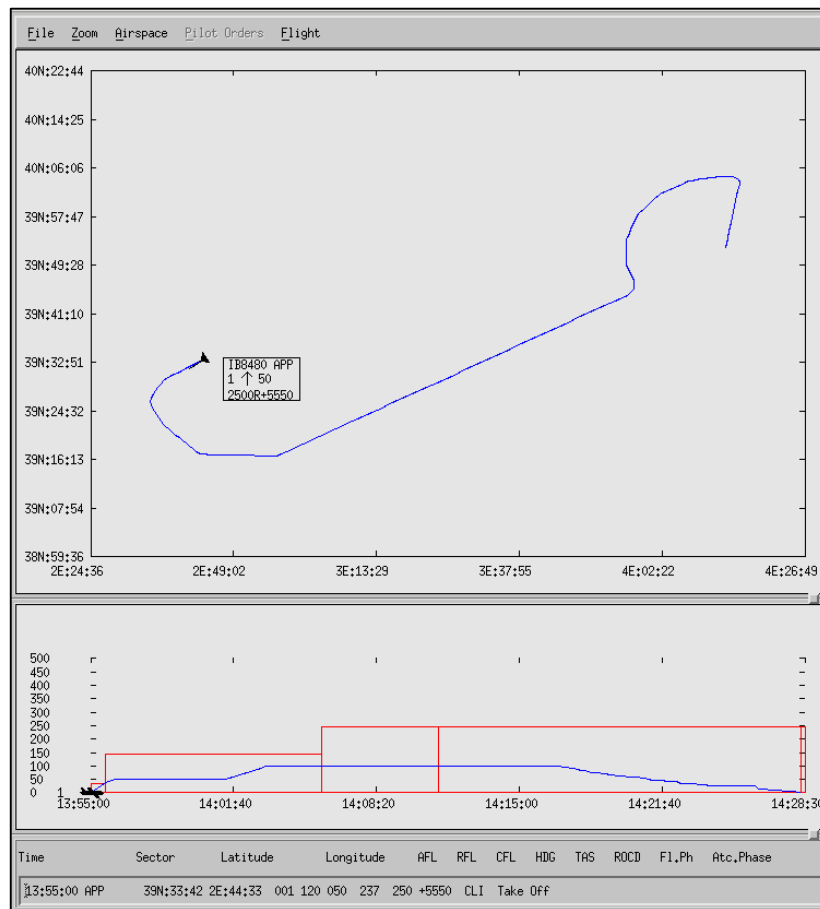


Figura 142: Aeronave mal generada 2 modificada

Se puede observar como en este caso el perfil generado es más aproximado a un perfil real de un vuelo entre islas, los cuales suelen alcanzar un nivel máximo de FL120. Por lo tanto, se procederá a repetir el mismo proceso con el resto de vuelos del segundo tipo antes definido. De esta manera, ya tenemos una aproximación más realista de los perfiles generados para el segundo tipo de aeronaves.

Por último, se tienen las aeronaves que entran en el espacio aéreo con un nivel de vuelo FL45 provenientes del LEBL. Como en este caso no se puede hacer uso de la modificación de procesos, porque entra al espacio aéreo en fase de ruta, la mejor solución es hacer que entre al espacio aéreo con la altitud RFL en vez de estar en ascenso. Esto se modifica en el apartado de *Traffic*.

No es del todo correcto, ya que durante unos minutos al comienzo de su entrada estaría ascendiendo hasta RFL, pero no supone ninguna diferencia sustancial para el estudio y, sin embargo, hace la simulación más realista, creando prácticamente las mismas situaciones una vez la aeronave entra en el TMA de Palma.

Ahora sí, todo está preparado para comenzar la extracción de resultados y el análisis.



## 2.6.- Resultados

Antes de extraer resultados, se llevará a cabo una comprobación de que los perfiles verticales de las aeronaves se han generado correctamente. Aunque no hayan aparecido errores en la máquina, puede darse el caso de que alguno de estos perfiles no sea el perfil real.

Para la obtención de resultados de la simulación se usará la herramienta ART-ANALYSIS. Con ella, se pueden reproducir espacios aéreos complejos con menor carga de trabajo y por lo tanto mayor fluidez con menos potencia. Dado que no se va a interactuar directamente con el tráfico ni con las decisiones de control, es la mejor opción.

Una vez en la herramienta, se extraerán datos sobre los conflictos de la simulación, la carga de los sectores o la fluidez de las aerovías y procedimientos.

Start Time	Type	Callsign1	Sector1	Callsign2	Sector2	Min H/S	Min V/S
12:20:00	VI	UX1706	APP	WT7773	APP	0,00	0
12:30:20	HN	NT5100	APP	IB8626	APP	3,54	1
12:34:20	VI	FR6578	L1W	LS1529	L1W	0,00	0
12:35:00	VI	UX6037	APP	FR2159	APP	0,50	0
12:35:00	VI	FR4614	APP	FR7205	APP	0,00	0
12:35:40	HN	UX6037	APP	FR1485	APP	1,98	8
12:36:10	SE	FR2159	APP	FR1485	APP	2,49	2
12:40:00	VI	LS258	APP	VY3950	APP	0,00	0
12:40:30	HN	VY3904	APP	LS258	APP	5,33	2
12:40:40	HN	VY3904	APP	VY3950	APP	4,84	2
12:45:30	HN	LS1529	APP	VY3945	APP	4,11	2
12:45:40	HN	FR6578	APP	VY3945	APP	4,78	2
12:55:00	VI	FR7510	NOX	IB8963	NOX	0,00	0
13:20:00	VI	EU2583	APP	FR1486	APP	0,00	0

Figura 143: Lista de conflictos del caso 1 de configuración actual 1

Start Time	Type	Callsign1	Sector1	Callsign2	Sector2	Min H/S	Min V/S
13:20:00	VI	EU2583	APP	FR1486	APP	0,00	0
13:20:00	VI	EU2583	APP	VY3905	APP	0,00	0
13:20:00	VI	FR1486	APP	VY3905	APP	0,00	0
13:20:30	SE	JE17	APP	FR1486	APP	2,91	1
13:20:40	HN	JE17	APP	EU2583	APP	2,80	7
13:20:40	HN	JE17	APP	VY3905	APP	2,61	7
13:30:00	VI	EW7583	APP	UX6060	APP	0,00	0
13:38:20	SE	VY3510	IAX	FR8146	IAX	2,98	1
13:50:20	HN	T03214	APP	LS1530	APP	5,12	1
13:55:00	HN	UX1707	L2W	LS1530	L2W	4,12	0
14:02:40	GR	UX1707	L2W	VY3865	APP	0,97	1
14:13:40	SE	BH8483	APP	EW584	L2W	0,91	1
14:38:40	HN	HV5673	IRX	IB8450	IRX	5,06	1
14:45:30	SE	U28627	APP	LX2157	APP	3,12	0

Figura 144: Lista de conflictos del caso 1 de configuración actual 2

Esta es la lista de los conflictos obtenidos si simplemente cada nave siguiese su plan de vuelo y trayectoria con las condiciones iniciales de la simulación. Hay un total de 27 conflictos, los cuales sucederían en estos puntos de no ser solventados:

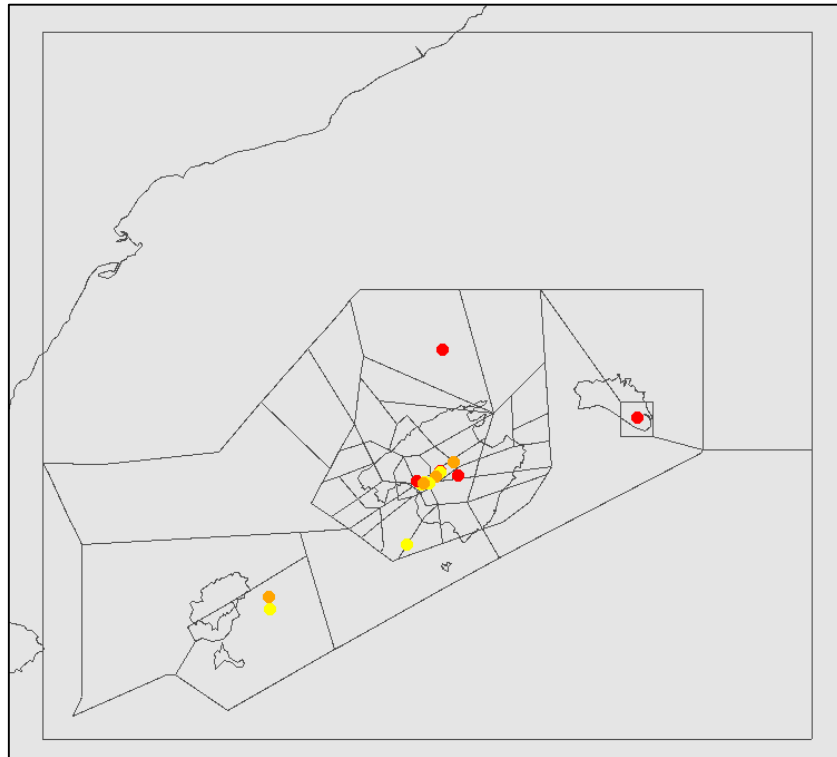


Figura 145: Conflictos de la configuración actual del caso 1

También se obtendrán datos sobre la carga de los sectores a lo largo de la simulación.

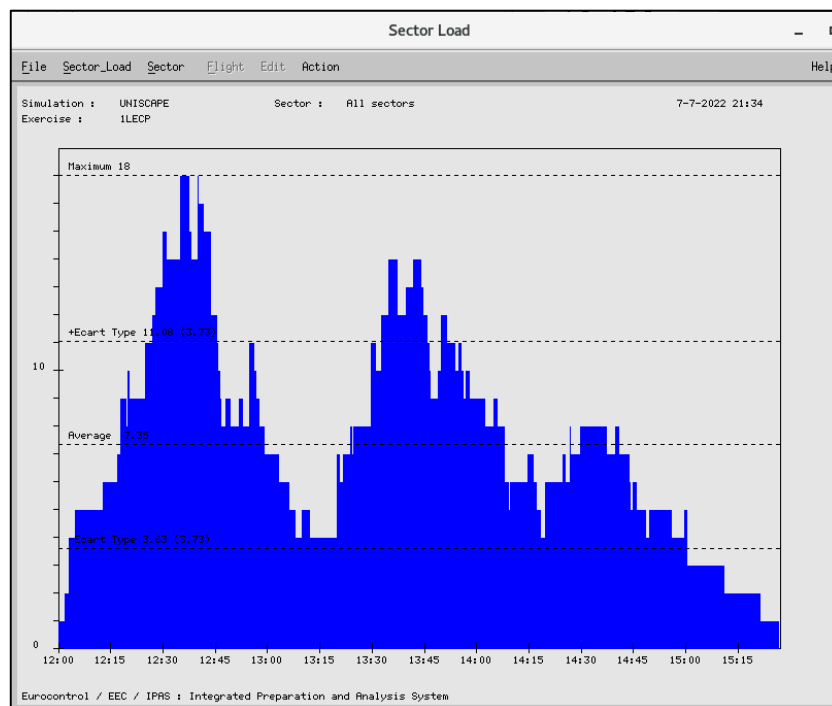


Figura 146: Carga de sectores de la configuración actual del caso 1

Además, se puede obtener este gráfico diferenciando por fases de vuelo:

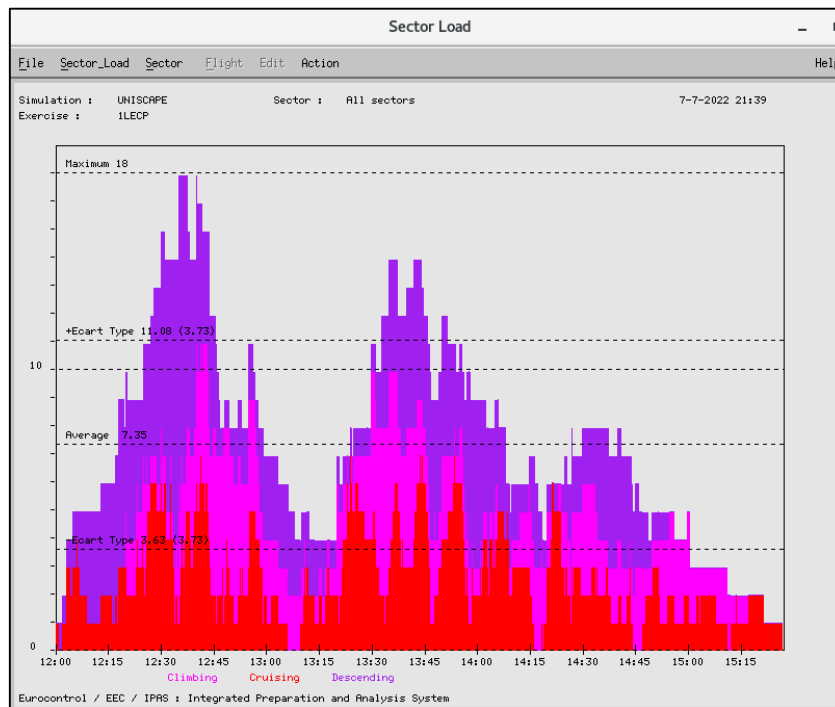


Figura 147: Carga de sectores detallada de la configuración actual del caso 1

De esta manera se puede observar la cantidad de aeronaves sobrevolando el espacio aéreo en sus diferentes fases. También se obtendrá la carga a lo largo del tiempo en el sector de aproximación del Aeropuerto de Palma, para extraer información que podría ser relevante, ya que en este sector se llevará a cabo la prueba con el nuevo procedimiento.

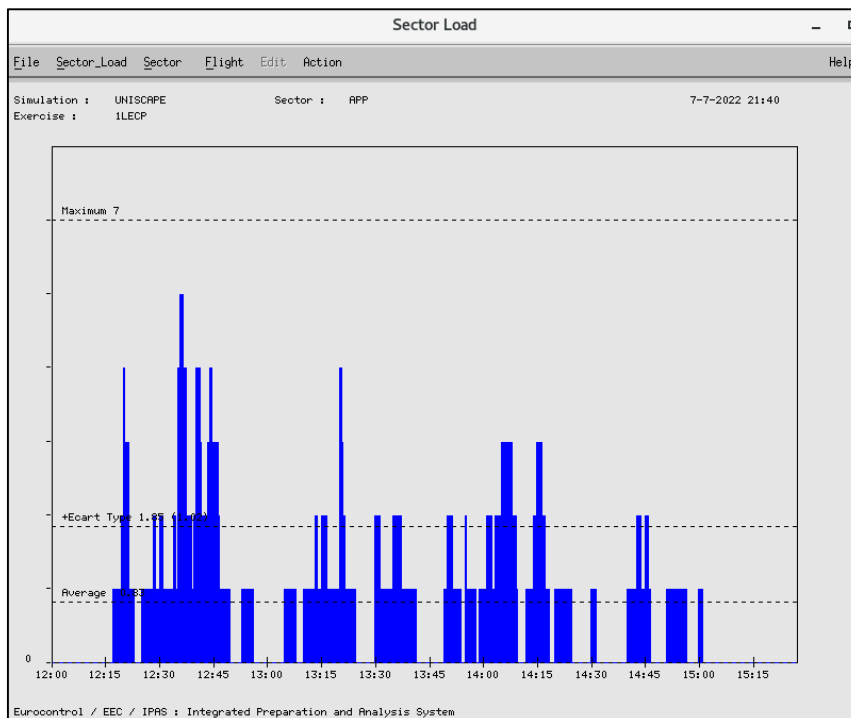


Figura 148: Carga del sector APP de la configuración actual del caso 1



Figura 149: Carga del sector APP detallada de la configuración actual del caso 1

También se extraerá información acerca de la fluidez de los diferentes tramos de las aerovías por porcentaje del tráfico que las recorre.

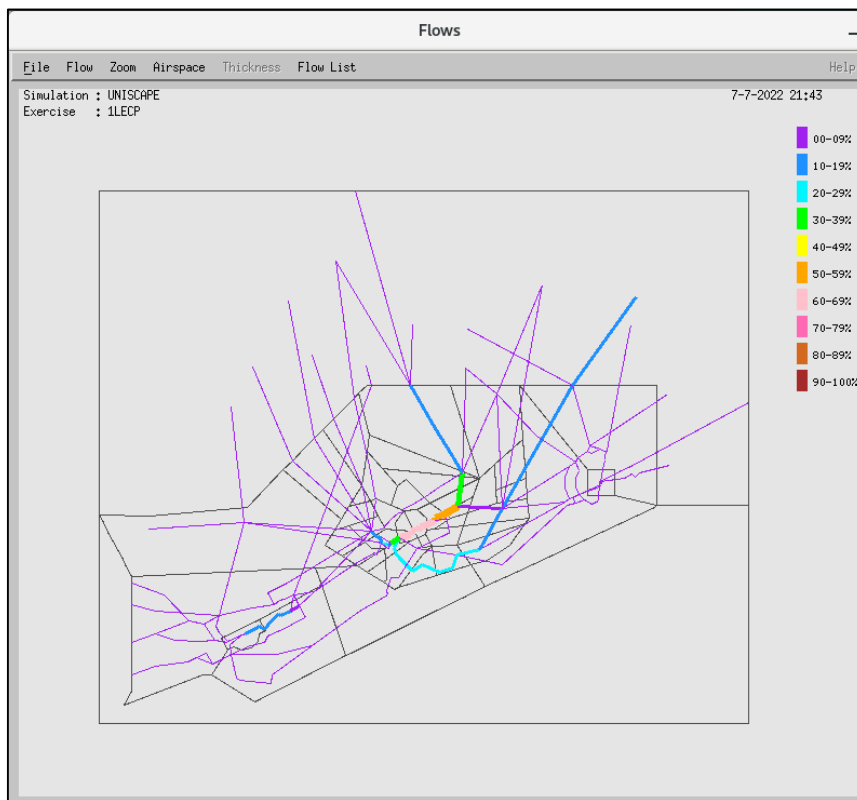


Figura 150: Fluidez de la configuración actual del caso 1

Por último, se extraerá un elemento clave para la elaboración del algoritmo. Los planes de vuelo de las aeronaves están definidos de manera automática y por lo tanto se pueden obtener los tiempos en los que las aeronaves llegan al aeropuerto. Esto ayudará para elaborar una condición en el algoritmo de decisión.

Sort	Sort	Sort	Sort	Sort	Sort
Callsign	StartTime	EndTime	EFL	FeedSector	ECodeSSR
FR7509	12:02:00	12:19:40	190	FEEDN	4444/A
EW2582	12:00:00	12:20:30	350	FEEDN	0125/A
EW6887	12:03:00	12:23:00	340	FEEDN	6673/A
NT5100	12:03:00	12:31:10	380	UIR	4442/A
FR2159	12:17:00	12:37:30	370	FEEDN	6651/A
UX6037	12:13:00	12:37:40	170	FEEDN	1256/A
FR1485	12:18:00	12:38:20	290	FEEDN	1742/A
BA8461	12:05:00	12:40:20	370	FEEDN	2020/A
VY3904	12:18:00	12:41:50	170	FEEDN	1277/A
WT7773	12:20:00	12:43:50	001	APP	4454/A
UX1706	12:20:00	12:44:00	001	APP	1253/A
UX6048	12:25:00	12:44:00	001	APP	3252/A
IB8485	12:25:00	12:44:50	001	MXX	1267/A
IB8451	12:35:00	12:45:40	001	IAX	4467/A
IB8962	12:27:00	12:46:00	200	FEEDN	5041/A
LS1529	12:28:00	12:46:30	300	FEEDN	1142/A
FR6578	12:23:00	12:46:50	170	FEEDN	1266/A
IB8626	12:30:00	12:49:30	001	APP	0050/A
FR4614	12:35:00	12:53:00	001	APP	3272/A
U27143	12:30:00	12:56:10	390	FEEDN	0525/A
FR7205	12:35:00	12:57:00	001	APP	5513/A
VY3717	12:40:00	12:57:50	001	MXX	1272/A
VY3950	12:40:00	12:59:10	001	APP	4471/A
VY3945	12:45:00	13:03:30	001	APP	0045/A
LS258	12:40:00	13:06:20	001	APP	5374/A
EW6891	12:48:00	13:08:10	290	FEEDN	6654/A
FR7510	12:55:00	13:12:10	001	MXX	0267/A
EW9580	12:55:00	13:16:40	370	FEEDN	0120/A
JET7	12:52:00	13:21:00	350	FEEDN	5216/A
IB8963	12:55:00	13:24:30	001	MXX	0445/A

OK    Display    Print    Cancel    Help

Eurocontrol / EEC / IPAS : Integrated Preparation and Analysis System

Figura 151: Lista de tráfico de la configuración actual del caso 1

### 3.- Caso 2

La simulación que se ha creado ha sido denominada como 1LECP. A partir de esta nomenclatura, se irá creando/duplicando la misma para crear los ejercicios (2LECP, 3LECP, ...).

El objetivo del análisis es estudiar los conflictos en las llegadas a Palma de Mallorca, por lo tanto, sería de gran utilidad reducir el tráfico del caso a solo llegadas (SOLO ARR), para así poder obtener información sobre los conflictos y las horas de llegada de las aeronaves que se van a ver modificadas.

Para hacer esto, se usará la herramienta *DATASET* para crear un nuevo ejercicio. Pero antes, en la pestaña *DOMAINS*, se procede a duplicar tanto el espacio aéreo del caso 1 (*LECP1*), como todas las características asociadas a este (*TRAFFIC*, *CONSTRAINTS*, *ARCHITECTURE* y *METEO*). El nuevo nombre del espacio aéreo será *LECP2* y los de las características asociadas a este seguirán la misma nomenclatura (*LECP2*, *LECP2*, ...).

Una vez se ha hecho esto, se duplica el ejercicio del caso 1 (*1LECP*) en la pestaña *EXERCISES*, renombrándolo a *2LECP* y asignándole el espacio aéreo 2 y todas las características ligadas a este último. Se valida y se sale de la herramienta *DATASET*.

Finalmente, desde la herramienta *TRAFFIC* se procede a filtrar por aeropuerto de destino y eliminar todos aquellos vuelos que su ADES sea diferente a LEPA. La razón por la que anteriormente se duplica el tráfico y ahora se borran los vuelos en el caso 2 es para poder volver a obtener los tráficos originales siempre que sea necesario. Una vez hecho todo esto, se procede a hacer *check* y validar el ejercicio, posteriormente se genera mediante la herramienta *PVP* las trayectorias (como en el caso 1) y, por último, se hace uso de la herramienta *ART ANALYSIS* para obtener los conflictos de los vuelos que se han dejado.

#### 3.1.- Resultados

Para ello, se hace uso de la pestaña *Conflict Analysis – Calculate Conflicts*. En esta pestaña se pueden establecer las condiciones de los conflictos y cada uno de sus tipos, aunque en este caso se dejaron las condiciones por defecto de *ESCAPE*. Una vez hecho esto, se procede a hacer un display de los conflictos mediante *Conflict Analysis – Conflicts List*. El resultado es el siguiente:

Start Time	Type	Callsign1	Sector1	Callsign2	Sector2	Min H/S	Min W/S
12:34:20	VI	FR6578	L1W	LS1529	L1W	0,00	0
12:35:00	VI	UX6037	APP	FR2159	APP	0,50	0
12:35:40	HN	UX6037	APP	FR1485	APP	1,98	8
12:36:10	SE	FR2159	APP	FR1485	APP	2,49	2
14:02:40	GR	UX1707	L2W	VY3865	APP	0,97	1
14:13:40	SE	BA8483	APP	EW584	L2W	0,91	1

Figura 152: Conflictos de solo llegadas a LEPA del caso 2

En dicha lista, se puede observar el momento en el que comienza el conflicto, su tipo, los callsign de las aeronaves en conflicto, el sector donde se produce y la duración del mismo.

Para resolver los conflictos de manera automatizada existen varias opciones:

- La primera de ellas es cambiar la hora a la que la aeronave entra en el espacio aéreo, de esta manera se podrían espaciar dos aeronaves en el tiempo y así eliminar el conflicto. Sin embargo, esta no es una solución atractiva, ya que en la realidad no tenemos la posibilidad de elegir a qué hora una aeronave se introduce en nuestro espacio aéreo.
- Otra forma sería introducir alguna de las aeronaves que esté inmiscuida en un conflicto en un circuito de espera. Pero Palma de Mallorca tiene muchos problemas de ruido debido a los aviones girando en dichos circuitos de espera, sin hablar de los costes que acarrea dichos circuitos para las aerolíneas en forma de carburante. Por lo que se aproxima a la solución, pero sería positivo encontrar una forma más apropiada y que reduzca al máximo el uso de circuitos.
- Por otro último, y de manera más acertada, existe la posibilidad de modificar levemente la ruta. Las trayectorias de descenso que genera ESCAPE de manera automatizada a partir de *BADA* hace que varíe el TOD (Top Of Descent) en función de la distancia que le queda a la aeronave para llegar al aeropuerto de destino. Por lo tanto, sería interesante proponer un nuevo procedimiento (o una serie de procedimientos) que permitiese variar levemente las trayectorias de las aeronaves, cambiando así las horas de llegada y los TODs y eliminando los conflictos.

Esto último es lo que se realizará e implementará en el Caso 3.

Por otra parte, se extraerán datos para comprobar con el Caso 3 a parte de los conflictos, como la carga por sector o la fluidez.

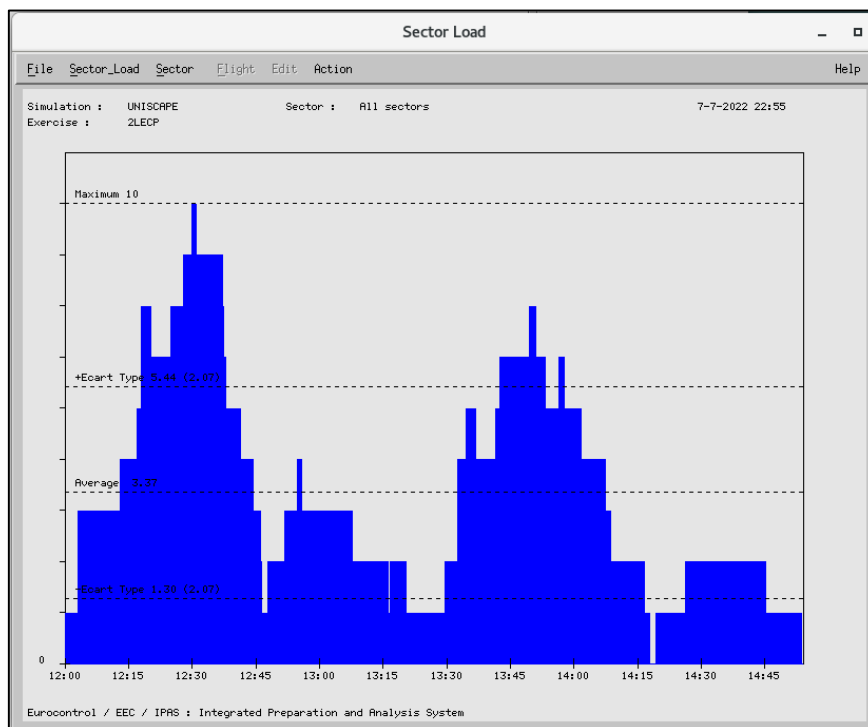


Figura 153: Carga de sectores de solo llegadas a LEPA del caso 2

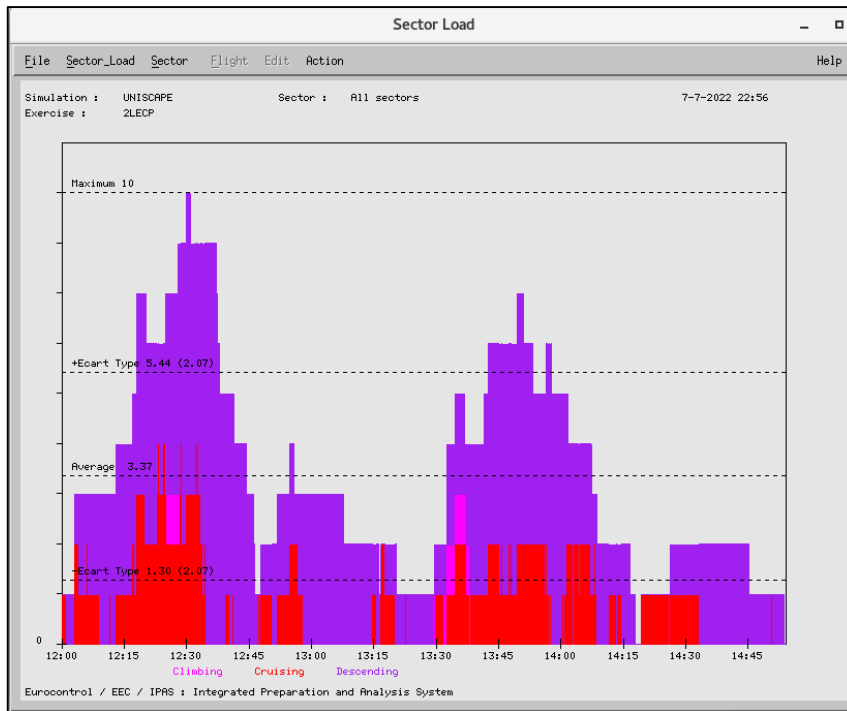


Figura 154: Carga de sectores detallada de solo llegadas a LEPA del caso 2

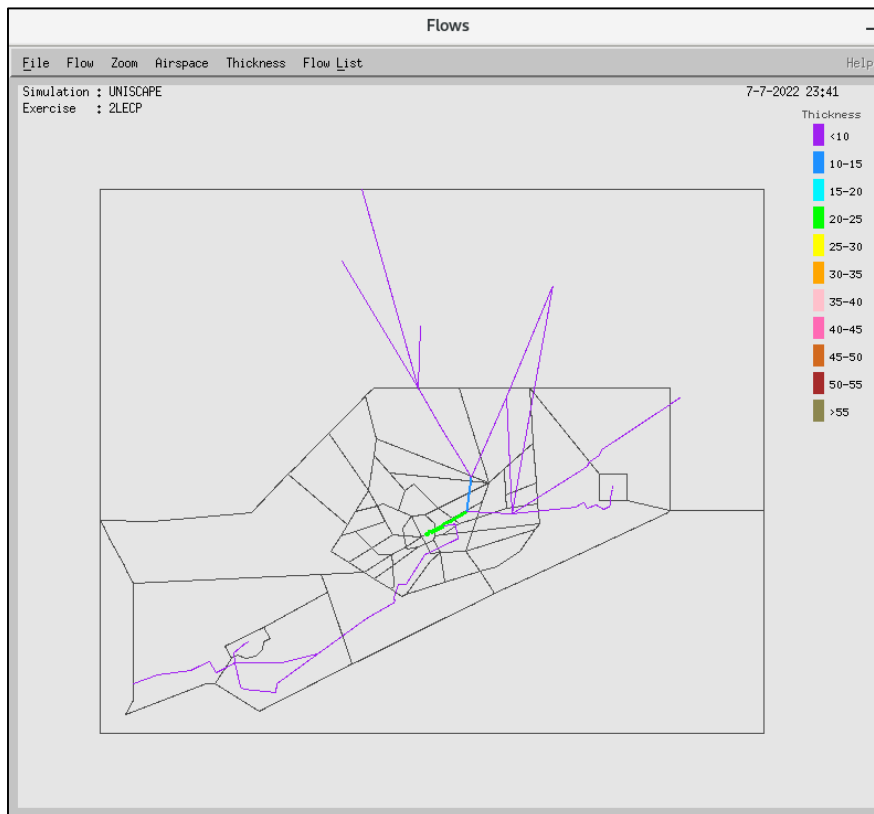


Figura 155: Fluidez de solo llegadas a LEPA del caso 2

Con las gráficas extraídas, se procederá a crear el nuevo procedimiento.



## 4.- Caso 3

Para la creación del procedimiento se hará uso de los numerosos ejemplos de procedimientos para ordenar llegadas de tráfico de muchos aeropuertos de países vecinos. Ya que, lo que se pretende implementar y analizar en el Aeropuerto de Mallorca lleva usándose desde hace unos años en Europa.

Un claro ejemplo de ello es el Aeropuerto de Dublín y su aproximación mediante el uso de un tipo de procedimientos denominados *Point Merge*:

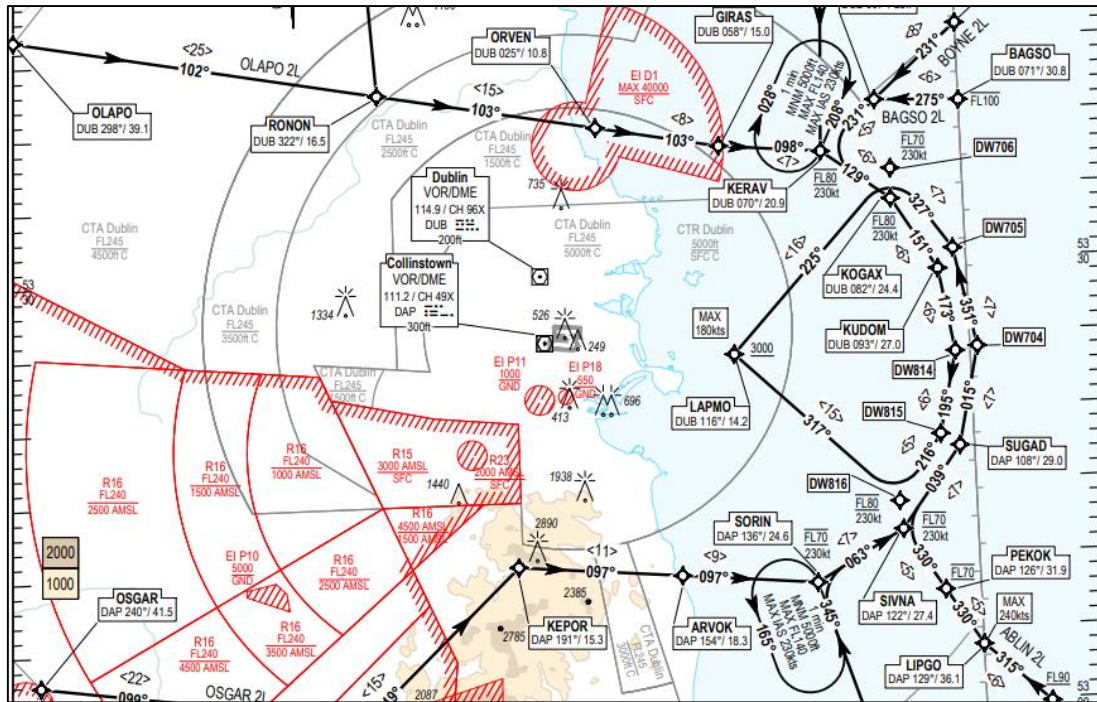


Figura 156: Ejemplo procedimiento de PointMerge del aeropuerto de Dublín, Irlanda

Este procedimiento tiene la particularidad de no estar definido totalmente o, mejor dicho, permite diferentes variaciones dependiendo del tráfico del momento. Es un procedimiento dinámico. De esta manera, dependiendo de la cantidad de aeronaves y de las llegadas de estas, se les va dando permiso para comenzar la última fase de la aproximación en diferentes puntos del arco, en función del espacio que quiera obtener el controlador entre las aeronaves.

Sin embargo, este no es el único aeropuerto que hace uso de procedimientos dinámicos. Sin ir más lejos, en España se tienen procedimientos dinámicos similares que permiten modificar levemente las aeronaves para mejorar el tráfico y eliminar conflictos. Un ejemplo de ello es el Aeropuerto de Barcelona:

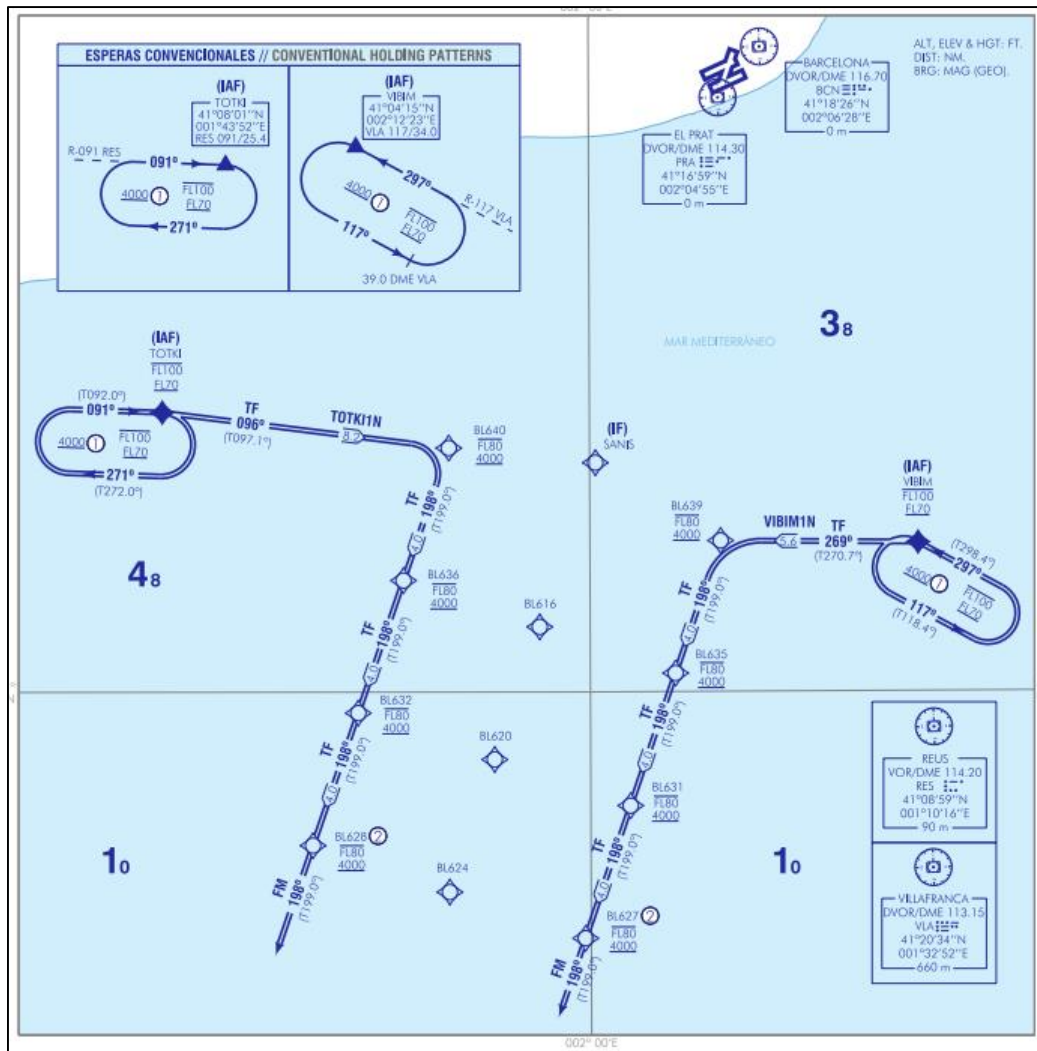


Figura 157: Ejemplo procedimiento doble trombón del aeropuerto de Barcelona, España

Este procedimiento combina dos “aproximaciones de trombón”, una a cada lado del punto de aproximación SANS (IF). Del mismo modo que en el aeropuerto de Dublín, los controladores APP son los que dan permiso a las aeronaves y las van acercando al aeropuerto usando diferentes entradas situadas en la parte central del trombón, en función de las horas de llegada y los posibles conflictos.

En este caso, se procederá a diseñar un procedimiento de doble trombón similar al del Aeropuerto de Barcelona *LE\_AD\_2\_LEBL\_TRAN\_1\_en.pdf* ya que, en este caso, se tienen dos circuitos de espera con una geometría muy similar a la de esta carta. Sin embargo, debido a la orientación, es más fácil visualizarlo en la carta *TRAN\_5*.

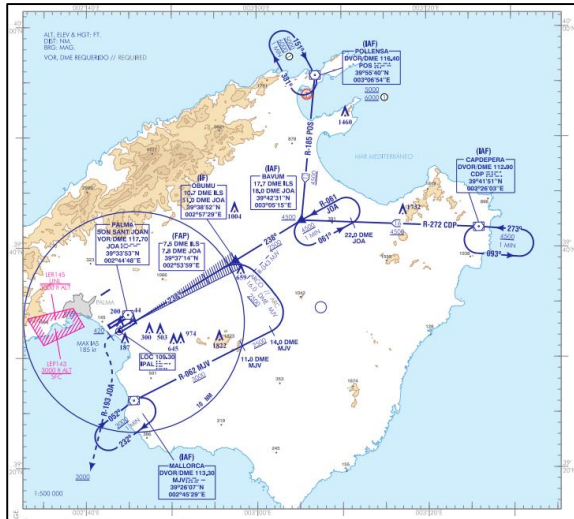


Figura 158: Llegada actual a LEPA 24L

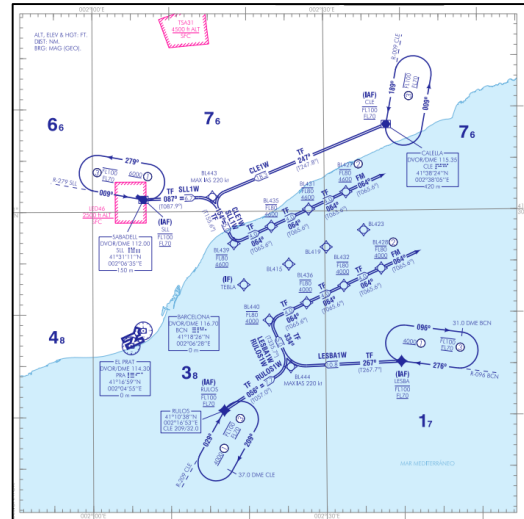


Figura 159: Llegada doble trombón LEPA 24L

El siguiente objetivo será diseñar el nuevo procedimiento y calcular y elegir la posición de los puntos de este, para así posteriormente crear nuevos procedimientos *STARs* y *PATHS* de *ESCAPE*.

### 3.2.1.- Nuevo procedimiento

Como se ha especificado en el apartado anterior, el diseño del nuevo procedimiento estará basado en la aproximación *TRAN\_1* del Aeropuerto Josep Tarradellas Barcelona – El Prat, por la similitud entre geometrías.

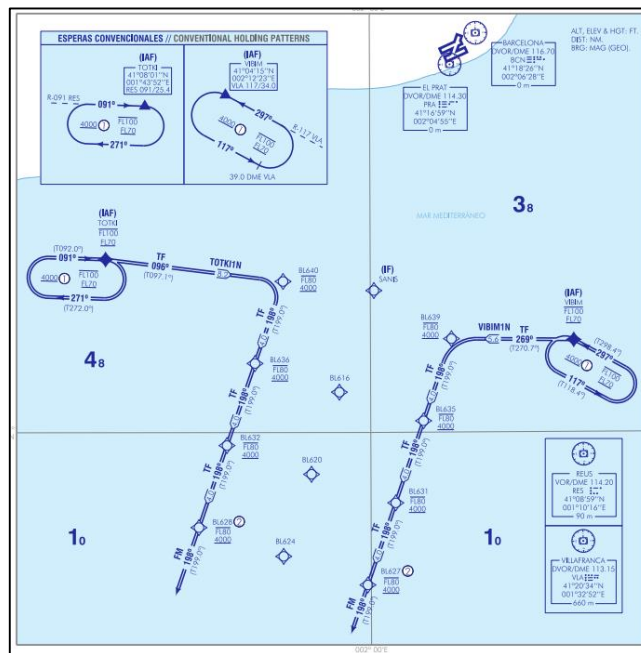


Figura 160: Llegada doble trombón LEPA 24L



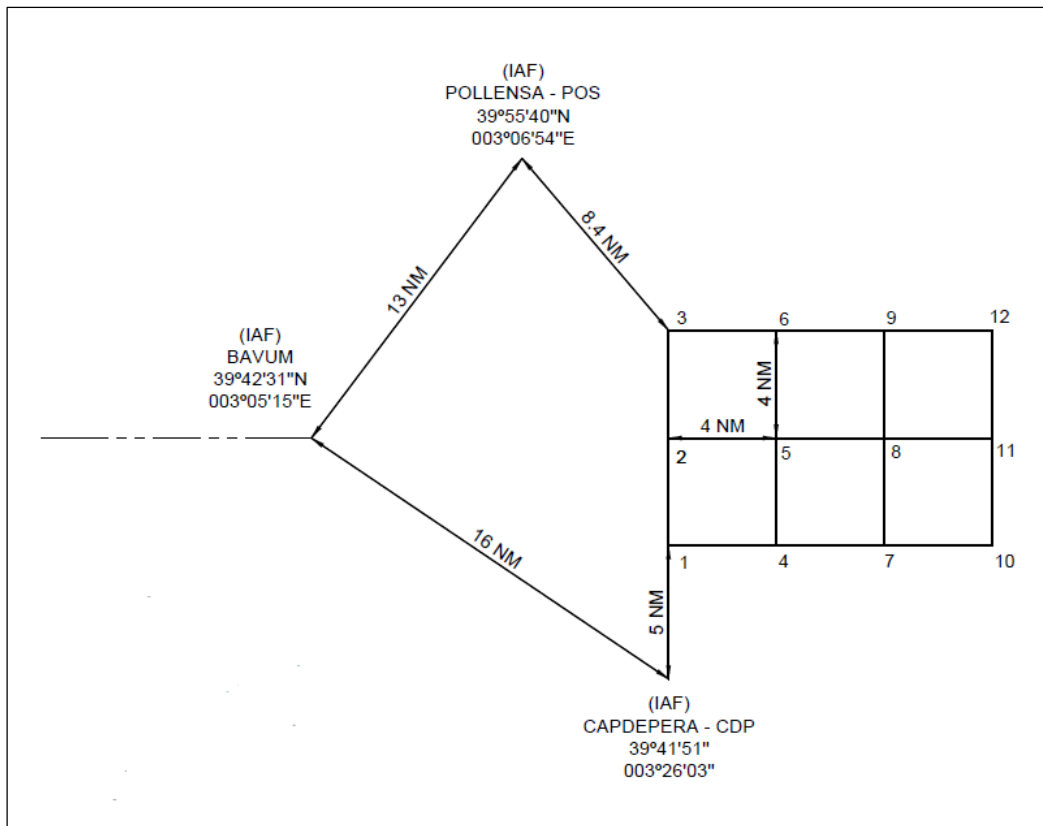


Figura 162: Propuesta de procedimiento dinámico

	POINT_NAME	LATITUDE	LONGITUDE
1	BAV01	39°46'02"N	003°22'37"E
2	BAV02	39°49'26"N	003°19'52"E
3	BAV03	39°52'49"N	003°17'06"E
4	BAV04	39°48'10"N	003°27'02"E
5	BAV05	39°51'33"N	003°24'17"E
6	BAV06	39°54'56"N	003°21'32"E
7	BAV07	39°50'17"N	003°31'27"E
8	BAV08	39°53'40"N	003°28'42"E
9	BAV09	39°57'03"N	003°25'57"E
10	BAV10	39°52'24"N	003°35'52"E
11	BAV11	39°55'47"N	003°33'07"E
12	BAV12	39°59'11"N	003°30'22"E

Figura 163: Coordenadas del procedimiento propuesto

El objetivo de este proyecto no consiste en diseñar y crear el procedimiento definitivo, por consiguiente, el cálculo del mismo puede mejorarse y precisarse en estudios posteriores en caso de que los resultados de este procedimiento sean positivos.



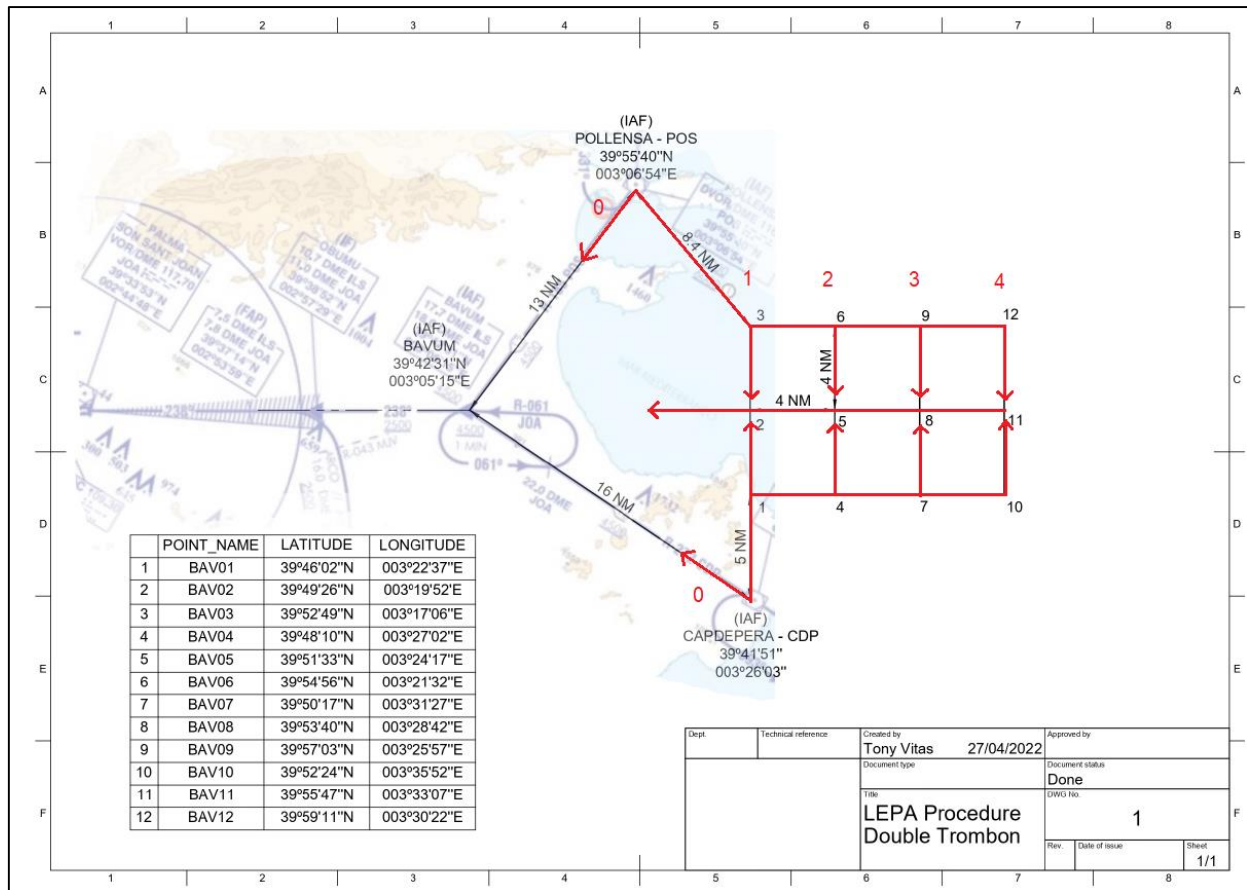


Figura 164: Propuesta procedimiento dinámico 2

A continuación, una superposición del procedimiento diseñado, con los niveles de entrada en rojo, y la carta *LESJ\_6*.

Una vez se conoce la forma del procedimiento, el siguiente objetivo será la creación y propuesta de un algoritmo que nos permita evitar los conflictos.

### 3.2.2.- Algoritmo de separación

La idea de crear un procedimiento dinámico es la de usar los diferentes niveles para introducir las aeronaves por cada uno de ellos, dependiendo de la diferencia entre las horas de llegada de estas. Por ende, el dato en el que se basarán las condiciones serán dichas horas de llegada, aunque la medida que interesa, concretamente, es la diferencia de tiempo entre cada una de ellas.

El algoritmo a desarrollar es sencillo, por lo que se puede crear un diagrama de flujo que especifique el nivel de entrada de la aeronave en el nuevo procedimiento en función de la diferencia de tiempo de su llegada y de la aeronave anterior. Para ello, se debe establecer cuál es la diferencia entre llegadas que limitará y determinará cuando una aeronave es enviada al siguiente nivel de entrada.

En este caso, se seguirán las indicaciones del documento *ICAO Documentation 4444 - Air Traffic Management - 16th Edition 2016 - Chapter 5.8*. En el apartado 5.8.2 está especificado como los aviones deben de tener una separación de 2 minutos en caso de que un avión “MEDIUM” aterrice detrás de un avión “HEAVY” y de 3 minutos en caso de que un avión “LIGHT” aterrice detrás de un avión “MEDIUM” o “HEAVY”. Por lo que, como vamos a crear un ejemplo generalizado, supondremos la mayor separación temporal para todos los casos, es decir, 3 minutos.

En caso de funcionar correctamente, se podría optimizar el proceso aún más modificando la separación temporal dependiendo del tipo de aeronave.

Otra cosa que se debe tener en cuenta es cuando dos aeronaves van a llegar en un lapso de tiempo menor al establecido, pero la primera en aterrizar lo va a hacer por el último nivel de entrada (4). En este caso no podemos aumentar el nivel de entrada, por lo que la mejor opción sería hacer que la aeronave permanezca en el circuito de espera más próximo. Una vez dada una vuelta, se recalcula si hay una alguna entrada posible, y así sucesivamente.

También se debe diferenciar entre aeronaves que llegan por el Norte, las cuales sí que pueden acceder al procedimiento, y las que llegan por el sur, que sólo tienen su respectivo circuito y una entrada.

Teniendo todo esto en cuenta, el siguiente diagrama de flujo que ayudará a visualizar el algoritmo que se quiere implementar:

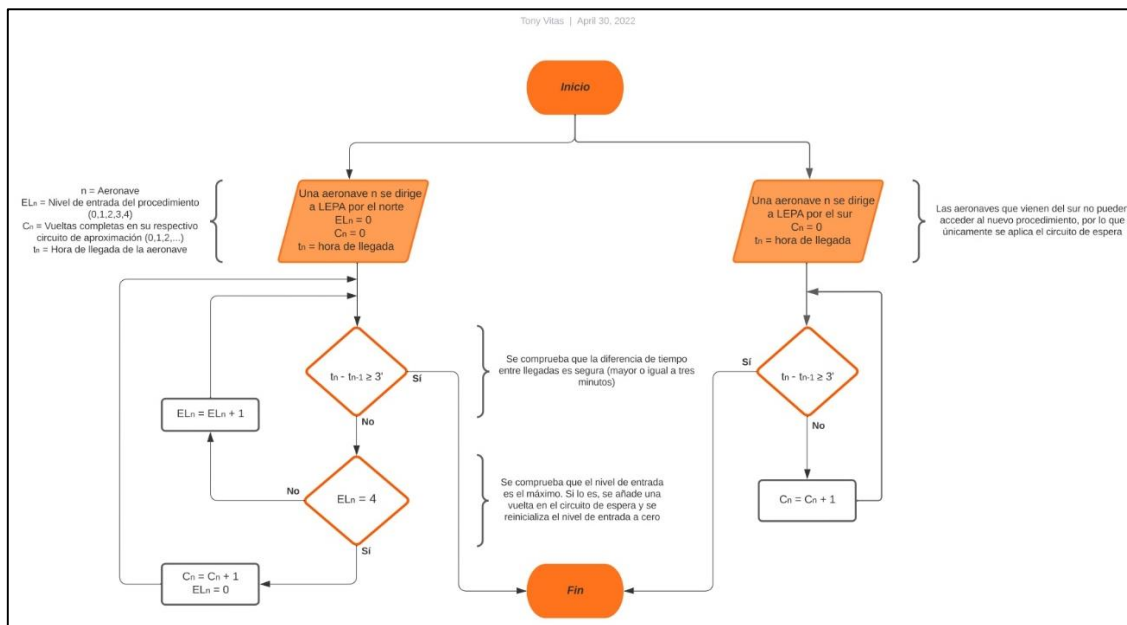


Figura 165: Algoritmo de separación

### 3.2.3.- Implementación del algoritmo

El paso siguiente es conseguir un listado de las llegadas a Palma con la información que necesaria, como son los callsigns y las horas de llegada. Por otro lado, también será necesaria la lista de los conflictos del Caso 2 para compararla con los resultados. Para ello se usará de nuevo la herramienta ART ANALYSIS. Pero antes de ello, se repetirá el proceso de creación del ejercicio 2LECP para la creación del Caso 3. Se replicará exactamente el caso y se aplicarán a

este los cambios, así los datos del Caso 2 no se ven afectados y se puede acudir a ellos en cualquier momento.

Una vez se ha hecho esto, se obtendrán las aeronaves y sus horas de llegada desde la herramienta ART ANALYSIS.

Sort	Sort	Sort	Sort	Sort	Sort
Callsign	StartTime	EndTime	EFL	FeedSector	ECodeSSR
EW2582	12:00:00	12:20:30	350	FEEDN	0125/A
EW6887	12:03:00	12:23:50	340	FEEDN	6673/A
NT5100	12:03:00	12:31:10	380	UIR	4442/A
FR2159	12:17:00	12:37:30	370	FEEDN	6651/A
UX6037	12:13:00	12:37:40	170	FEEDN	1256/A
FR1485	12:18:00	12:38:20	290	FEEDN	1742/A
VY3904	12:18:00	12:41:50	170	FEEDN	1277/A
IB8485	12:25:00	12:44:50	001	MXX	1267/A
LS1529	12:28:00	12:46:30	300	FEEDN	1142/A
FR6578	12:23:00	12:46:50	170	FEEDN	1266/A
U27143	12:30:00	12:56:10	390	FEEDN	0525/A
EW6891	12:48:00	13:08:10	290	FEEDN	6654/A
EW9580	12:55:00	13:16:40	370	FEEDN	0120/A
JET7	12:52:00	13:21:00	350	FEEDN	5216/A
EW8592	13:17:00	13:37:30	350	FEEDN	1123/A
T03214	13:33:00	13:51:40	310	FEEDN	7657/A
FR6583	13:33:00	13:54:00	230	FEEDN	0275/A
LX2156	13:35:00	13:58:20	330	FEEDN	3001/A
EW9592	13:42:00	14:02:30	390	FEEDN	2505/A
VY3865	13:43:00	14:08:10	320	FEEDN	5057/A
UX1707	13:30:00	14:09:30	001	IAX	1275/A
EW584	13:57:00	14:17:30	370	FEEDN	0127/A
BA8483	13:50:00	14:18:40	330	FEEDN	2057/A
U28627	14:20:00	14:46:10	330	FEEDN	2152/A
VY3941	14:27:00	14:54:40	360	UIR	5052/A

OK    Display    Print    Cancel    Help

Eurocontrol / EEC / IPAS : Integrated Preparation and Analysis System

Figura 166: Lista del tráfico sin modificar

La lista de aeronaves se ha ordenado por orden ascendente de horas de llegada. Será en este orden en el que se aplicará el algoritmo, teniendo en cuenta las horas para la condición y elección de trayectoria. Pero antes de ello, se deberá de introducir las coordenadas de los puntos del nuevo procedimiento para poder asignar las trayectorias. Este es el resultado:





Figura 167: Procedimiento modificado LEPA

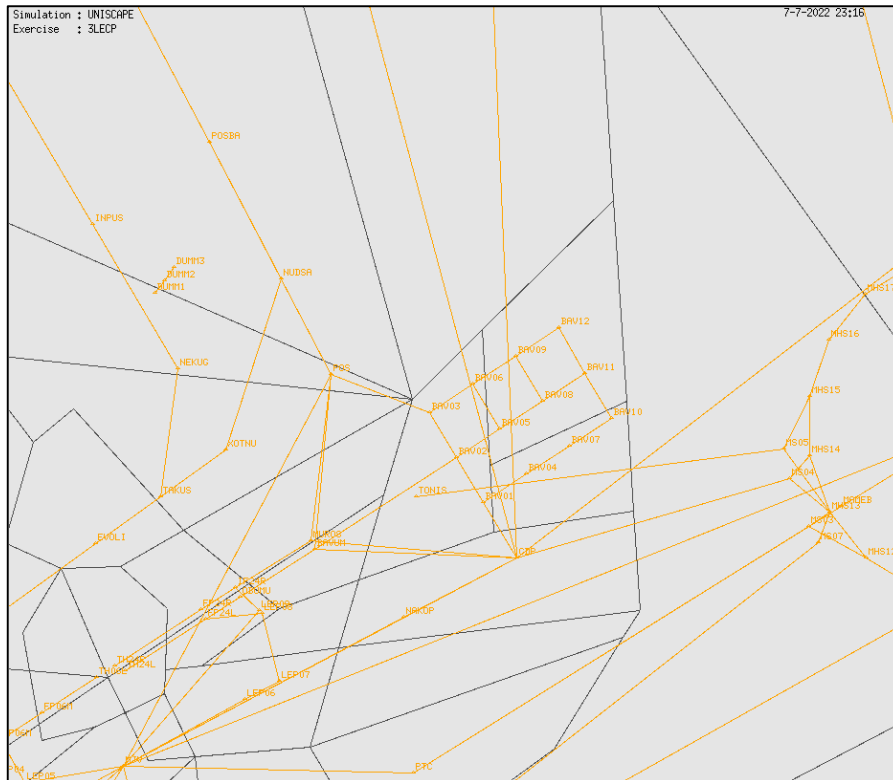


Figura 168: Procedimiento modificado LEPA 2

Una vez está todo preparado, se ha implementado el algoritmo a las aeronaves, definiendo así sus trayectorias. Se ha creado un Excel con los datos previos y posteriores a la implementación del algoritmo. Además, se puede comprobar que las condiciones han sido correctamente aplicadas con una nueva lista de tráfico de ART ANALYSIS.

CALLSIGN	ENDTIME_INICIAL	TIME_DIF_INICIAL	STAR_INICIAL	PATH_INICIAL	N_INICIAL	ENDTIME_FINAL	TIME_FIF_FINAL	STAR_FINAL	PATH_FINAL	N_FINAL	CIRCUITO_ESPERA
EW2582	12:20:30	0:00:00	POS1PL	VERSO_POS1PL		12:20:30	0:00:00	POS1PL	VERSO_POS1PL	0	0:00:00
EW6887	12:23:00	0:02:30	CDP2PL	MAXOS_CDP2PL		12:23:50	0:03:20	CDP2P1	MAXOS_CDP2P1	1	0:00:00
NTS100	12:31:10	0:08:10	RUXE2PL	BRUNO_RUXE2PL		12:31:10	0:07:20	RUXE2PL	BRUNO_RUXE2PL	0	0:00:00
FR2159	12:37:30	0:06:20	POS1PL	VERSO_POS1PL		12:37:30	0:06:20	POS1PL	VERSO_POS1PL	0	0:00:00
UX6037	12:37:40	0:00:10	LORE1PL	BCN_LORE1PL		12:40:50	0:03:20	LORE1P2	BCN_LORE1P2	2	0:00:00
FR1485	12:38:20	0:00:40	CDP2PL	MAXOS_CDP2PL		12:44:30	0:03:40	CDP2PL	MAXOS_CDP2PL	0	0:06:00
VY3904	12:41:50	0:03:30	LORE1PL	BCN_LORE1PL		12:47:30	0:03:00	LORE1P2	BCN_LORE1P2	2	0:00:00
IB8485	12:44:50	0:03:00	MAME1PL	MAM1D_MAME1PL		12:51:20	0:03:50	MAME1PL	MAM1D_MAME1PL	0	0:06:00
FR6578	12:46:20	0:01:30	LORE1PL	BCN_LORE1PL		12:54:40	0:03:20	LORE1P1	BCN_LORE1P1	1	0:06:00
LS1529	12:46:30	0:00:10	LORE1PL	KUREG_LORE1PL		12:58:40	0:04:00	LORE1P4	KUREG_LORE1P4	4	0:06:00
U27143	12:56:10	0:09:40	LORE1PL	LUKEV_LORE1PL		13:02:10	0:03:30	LORE1P4	LUKEV_LORE1P4	4	0:00:00
EW6891	13:08:10	0:12:00	CDP2PL	MAXOS_CDP2PL		13:08:10	0:06:00	CDP2PL	MAXOS_CDP2PL	0	0:00:00
EW9580	13:16:40	0:08:30	CDP2PL	VERSO_CDP2PL		13:16:40	0:08:30	CDP2PL	VERSO_CDP2PL	0	0:00:00
JET7	13:21:00	0:04:20	LORE1PL	LUKEV_LORE1PL		13:20:10	0:03:30	LORE1PL	LUKEV_LORE1PL	0	0:00:00
EW8592	13:37:30	0:16:30	POS1PL	VERSO_POS1PL		13:37:30	0:17:20	POS1PL	VERSO_POS1PL	0	0:00:00
TO3214	13:51:40	0:14:10	LORE1PL	KUREG_LORE1PL		13:50:50	0:13:20	LORE1PL	KUREG_LORE1PL	0	0:00:00
FR6583	13:54:00	0:02:20	CDP2PL	MAXOS_CDP2PL		13:54:00	0:03:10	CDP2PL	MAXOS_CDP2PL	0	0:00:00
LX2156	13:58:20	0:04:20	LUNI2PL	VERSO_LUNI2PL		13:58:20	0:04:20	LUNI2PL	VERSO_LUNI2PL	0	0:00:00
EW9592	14:02:30	0:04:10	POS1PL	VERSO_POS1PL		14:02:30	0:04:10	POS1PL	VERSO_POS1PL	0	0:00:00
VY3865	14:08:10	0:05:40	LORE1PL	BCN_LORE1PL		14:08:00	0:05:30	LORE1PL	BCN_LORE1PL	0	0:00:00
UX1707	14:09:30	0:01:20	LAMP2PL	LAM2E_LAMP2PL		14:15:10	0:07:10	LAMP2PL	LAM2E_LAMP2PL	0	0:06:00
BA8483	14:17:30	0:08:00	LORE1PL	LUKEV_LORE1PL		14:18:30	0:03:20	POS1P1	VERSO_POS1P1	1	0:00:00
EW584	14:18:40	0:01:10	POS1PL	VERSO_POS1PL		14:22:20	0:03:50	LORE1P2	LUKEV_LORE1P2	2	0:00:00
U28627	14:46:10	0:27:30	LORE1PL	LUKEV_LORE1PL		14:45:50	0:23:30	LORE1PL	LUKEV_LORE1PL	0	0:00:00
VY3941	14:54:40	0:08:30	RUXE2PL	BRUNO_RUXE2PL		14:54:40	0:08:50	RUXE2PL	BRUNO_RUXE2PL	0	0:00:00

Figura 169:Lista de tráfico modificado

Sort	Sort	Sort	Sort	Sort	Sort
Callsign	StartTime	EndTime	FL	FeedSector	ECodeSSR
EW2582	12:00:00	12:20:30	350	FEEDN	0125/A
EW6887	12:03:00	12:23:50	340	FEEDN	6673/A
NTS100	12:03:00	12:31:10	380	UIR	4442/A
FR2159	12:17:00	12:37:30	370	FEEDN	6651/A
UX6037	12:13:00	12:40:50	170	FEEDN	1256/A
FR1485	12:18:00	12:44:30	290	FEEDN	1742/A
VY3904	12:18:00	12:47:30	170	FEEDN	1277/A
IB8485	12:25:00	12:51:20	001	HXX	1267/A
FR6578	12:23:00	12:54:40	170	FEEDN	1266/A
LS1529	12:28:00	12:58:40	300	FEEDN	1142/A
U27143	12:30:00	13:02:10	390	FEEDN	0525/A
EW6891	12:48:00	13:08:10	290	FEEDN	6654/A
EW9580	12:55:00	13:16:40	370	FEEDN	0120/A
JET7	12:52:00	13:20:10	350	FEEDN	5216/A
EW8592	13:17:00	13:37:30	350	FEEDN	1123/A
TO3214	13:33:00	13:50:50	310	FEEDN	7657/A
FR6583	13:33:00	13:54:00	230	FEEDN	0275/A
LX2156	13:35:00	13:58:20	330	FEEDN	3001/A
EW9592	13:42:00	14:02:30	390	FEEDN	2505/A
VY3865	13:43:00	14:08:00	320	FEEDN	5057/A
UX1707	13:30:00	14:15:10	001	IAX	1275/A
BA8483	13:50:00	14:18:30	330	FEEDN	2057/A
EW584	13:57:00	14:22:20	370	FEEDN	0127/A
U28627	14:20:00	14:45:50	330	FEEDN	2152/A
VY3941	14:27:00	14:54:40	360	UIR	5052/A

OK Display Print Cancel Help

Eurocontrol / EEC / IPAS : Integrated Preparation and Analysis System

Figura 170:Lista de tráfico modificado 2

Como se puede observar, los datos coinciden con los dispuestos en la simulación, por lo que la aplicación del algoritmo e introducción de datos han sido realizados con éxito.

### 3.2.4.- Resultados

En ART ANALYSIS, si se intenta acceder a la herramienta de “Conflict Analysis” se puede ver como la única opción seleccionable disponible es el “Conflict Builder”, sin permitir acceso a “Conflict List”. Esto significa que efectivamente el algoritmo ha eliminado todos los conflictos que surgían en sus planes de vuelo automatizados.

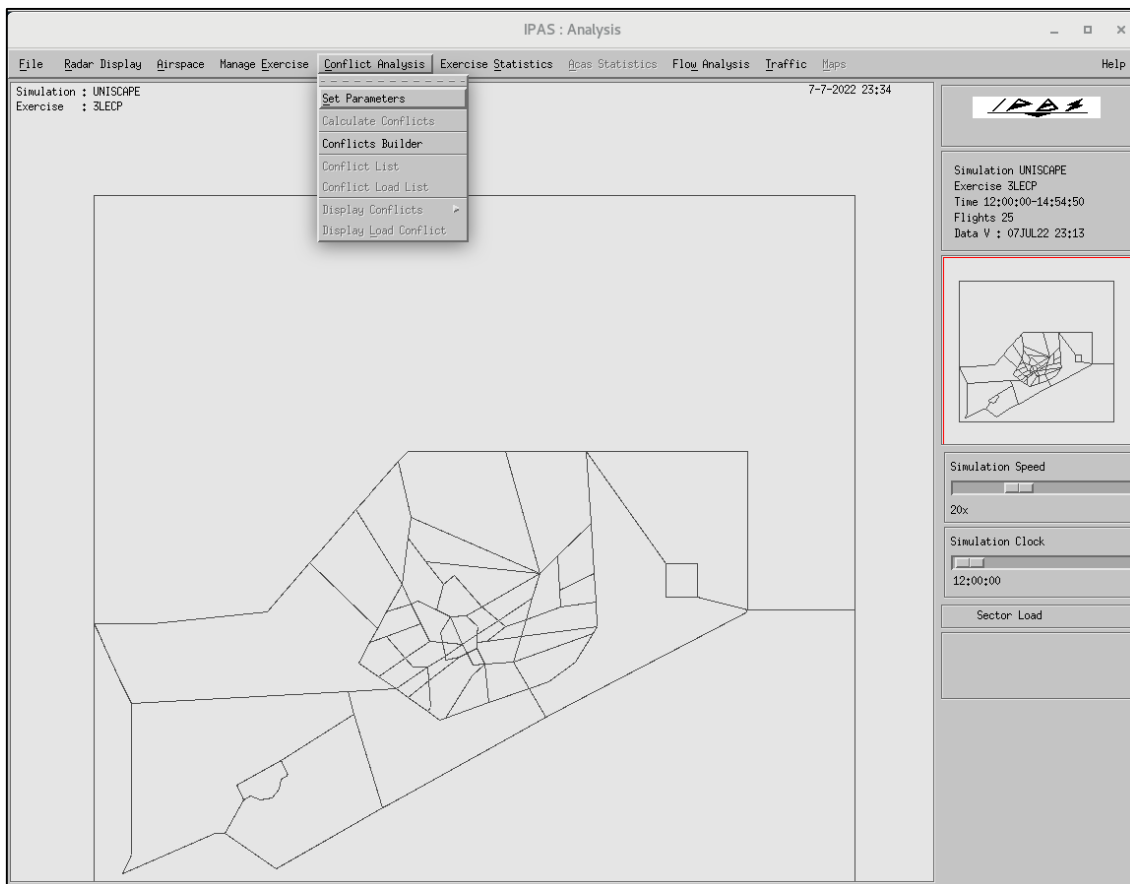


Figura 171: Conflictos de llegadas a LEPA modificadas del caso 3

Esto marca una diferencia significativa con el modelo ya que, con la simple implementación de un sencillo algoritmo, abre la puerta a una posible automatización del control espacio aéreo conforme vaya avanzando la tecnología.

Por otro lado, se extraerán datos de la carga por sector y se comparará con los obtenidos en el caso 2.

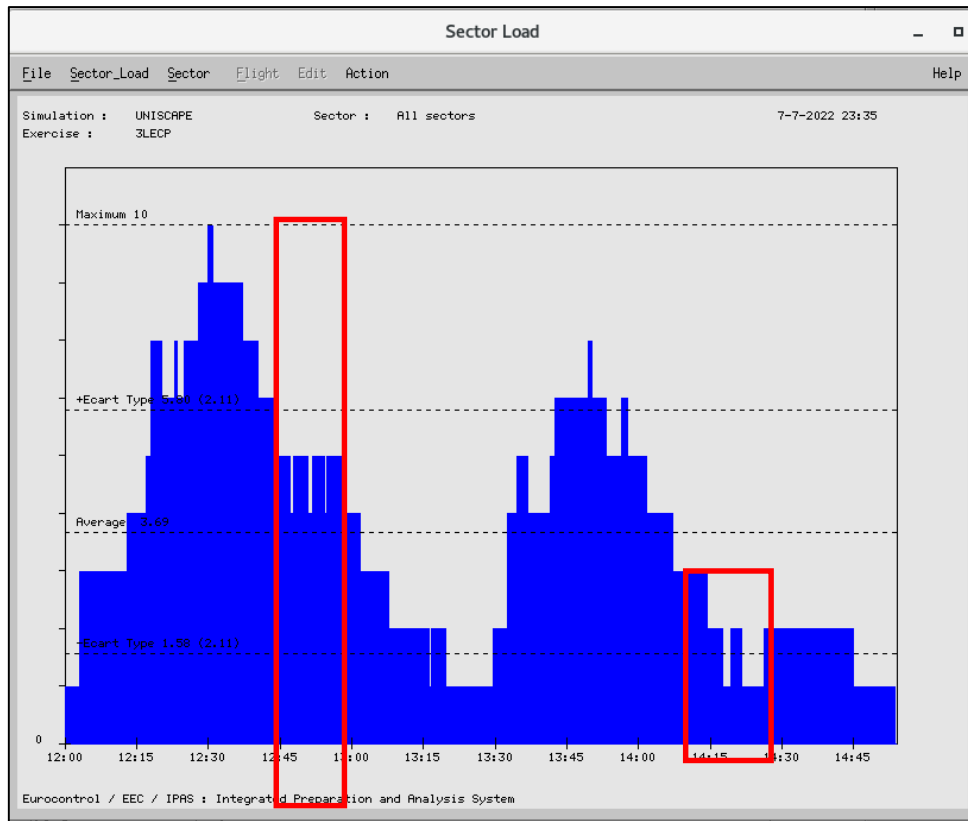


Figura 172: Carga de sector de llegadas a LEPA modificadas del caso 3

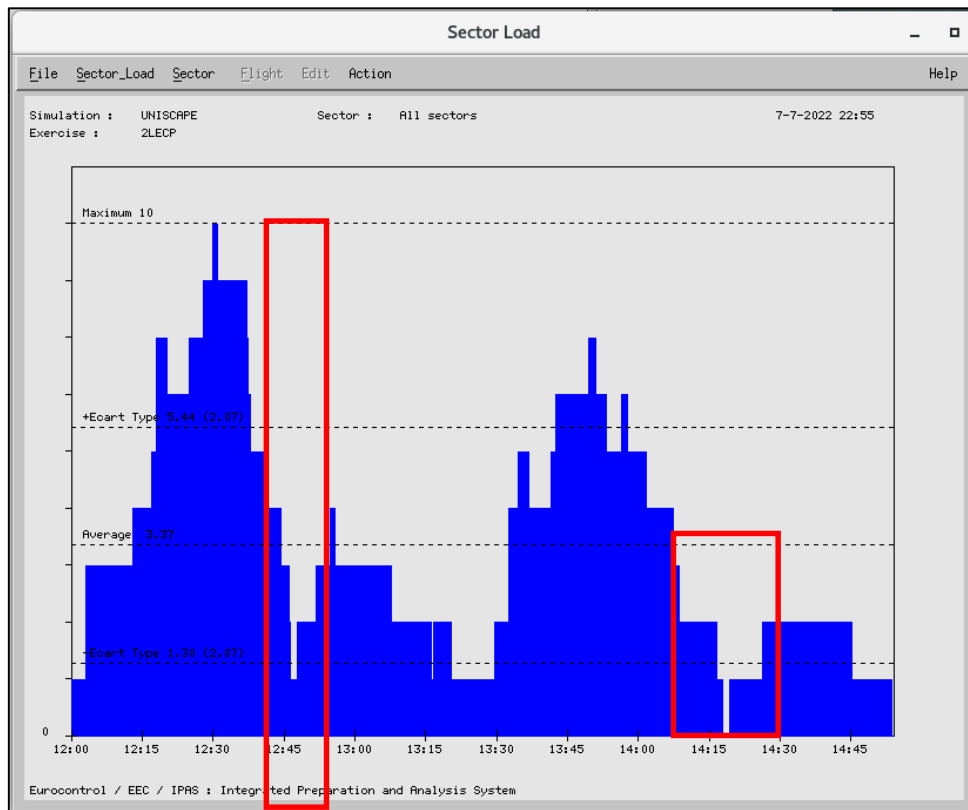
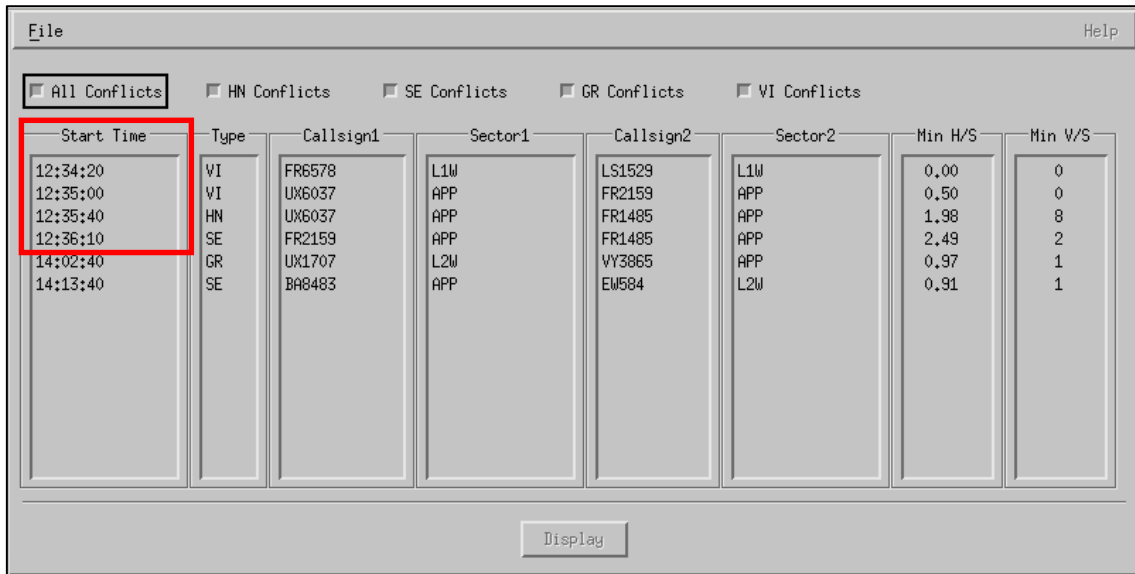


Figura 173: Carga de sector de llegadas a LEPA sin modificar del caso 2

Se puede observar que hay un aumento significativo en la carga por sector en la zona marcada. Sin embargo, este aumento de carga coincide con la mayor concentración de conflictos.



Start Time	Type	Callsign1	Sector1	Callsign2	Sector2	Min H/S	Min W/S
12:34:20	VI	FR6578	L1W	LS1529	L1W	0,00	0
12:35:00	VI	UX6037	APP	FR2159	APP	0,50	0
12:35:40	HN	UX6037	APP	FR1485	APP	1,98	8
12:36:10	SE	FR2159	APP	FR1485	APP	2,49	2
14:02:40	GR	UX1707	L2W	VY3865	APP	0,97	1
14:13:40	SE	BA8483	APP	EW584	L2W	0,91	1

Figura 174: Lista de conflictos de llegadas a LEPA sin modificar del caso 2

Por lo tanto, es un aumento justificado ya que, para que puedan entrar ordenadamente al aeropuerto aeronaves con horas de llegada similares, es estrictamente necesario que algunas de ellas permanezcan más tiempo en el espacio aéreo. El objetivo es que este tiempo sea el mínimo.

Por último, se extraerán datos en forma de gráfica de la fluidez del caso.

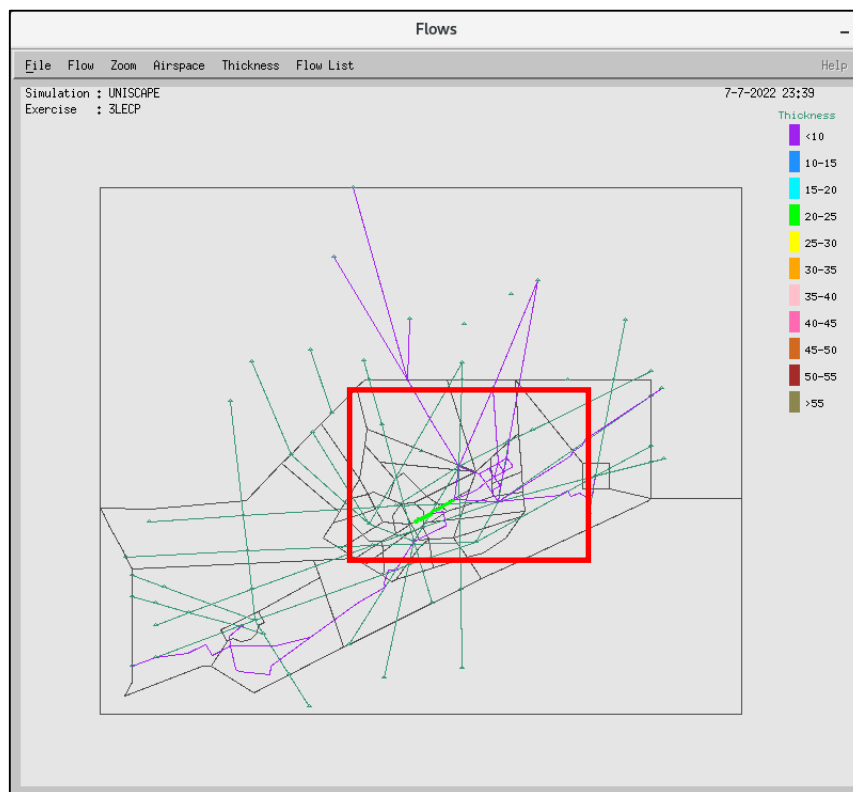


Figura 175: Fluidez de llegadas a LEPA modificadas del caso 3

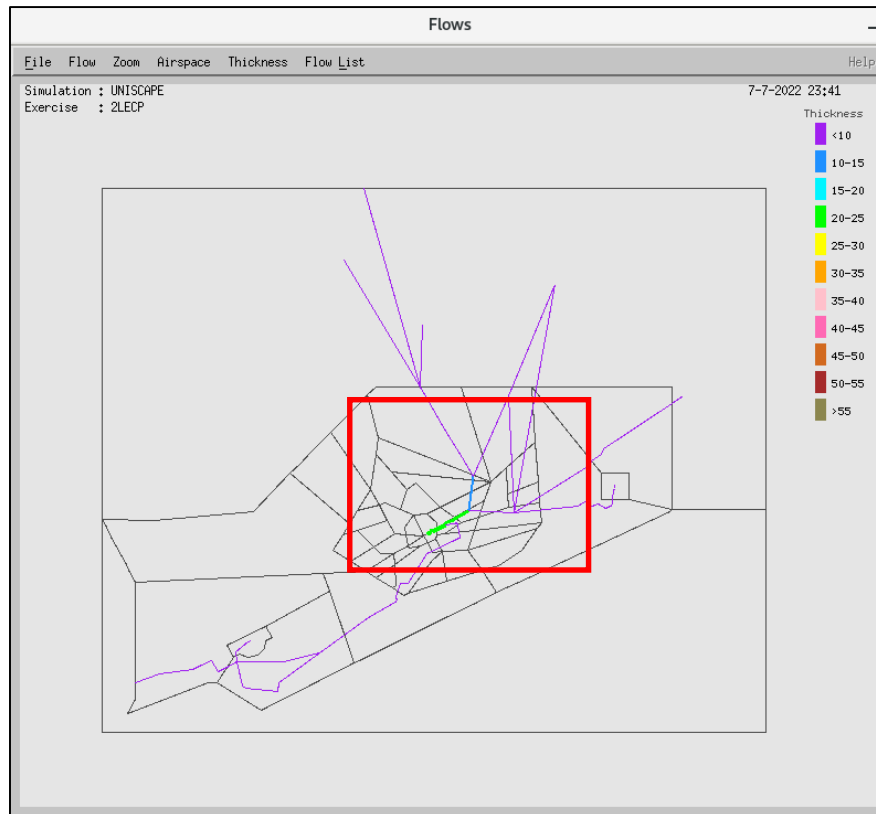


Figura 176: Fluidez de llegadas a LEPA sin modificar del caso 2

Como se puede observar, el número de aeronaves que pasa por la entrada norte ha disminuido y, por lo tanto, mejorado la fluidez de la zona. Es normal que esto ocurra con el aumento en tramos de aerovías, siempre y cuando estas hayan sido creadas correctamente.

Se puede hacer una primera conclusión. Con el diseño del procedimiento dinámico, junto con la creación e implementación del algoritmo, se ha conseguido eliminar todos los conflictos de las aeronaves que entraban al espacio aéreo. La carga ha aumentado levemente en el momento en el que se concentraban los conflictos, pero la fluidez mejora, aun habiendo aumentado el tiempo en el que las naves permanecen en el espacio.

## 5.- Caso 4

Por último, se creará el Caso 4, en el que estará contenido todo el tráfico de la simulación, pero con el nuevo procedimiento de llegada a Palma de Mallorca. Para la creación del ejercicio se ha duplicado el espacio aéreo del Caso 3 y los tráficos de llegada a Palma del tráfico original del Caso 1 han sido sustituidos por los del Caso 3, el resto ha permanecido.

The screenshot shows the 'TRAFFIC: LECPT4' window with two main tables. The top table, titled 'FLIGHTS', lists various flight callsigns, their defined paths, start times, and aircraft details. The bottom table, titled 'PATH SECTION', shows the specific path sections for the selected flight, including point names, airway names, and sub-flight paths.

Callsign	Defined for	Flight path	Start time	Adep	Ades	Real A/C	A/C model	BADA 4 version	Entry point
BA8483	BOTH	LUKEV_LOREIPL	13:50:00	EGLC	LEPA	E190	E190		
BA8484	BOTH	PTC2A_CHELY	15:00:00	LEPA	EGLC	E190	E190		
CVK7068	AIR	SISMO_GENIO	12:28:00	LFOK	DAUG	AN12	AN12		
EW2582	BOTH	VERSO_POS1PL	12:00:00	EDDS	LEPA	A320	A320	00	
EW2583	BOTH	PTC2A_CHELY	13:20:00	LEPA	EDDS	A320	A320	00	
EW583	BOTH	PTC2A_CHELY	14:15:00	LEPA	EDDK	A320	A320	00	
EW584	BOTH	VERSO_POS1P3	13:57:00	EDDK	LEPA	A320	A320	00	
EW6887	BOTH	MAXOS_CDP2P1	12:03:00	EDDM	LEPA	A320	A320	00	
EW6891	BOTH	MAXOS_CDP2PL	12:48:00	EDDM	LEPA	A320	A320	00	
EW7583	BOTH	PTC2A_CHELY	13:30:00	LEPA	EDDH	A320	A320	00	
EW8592	BOTH	VERSO_POS1PL	13:17:00	EDDB	LEPA	A320	A320	00	

SID name	STAR name

Point name	Airway name	sub flight path
RIPAL		
MORSS		
MHN		

94 records (1 selected) - Path used in 1 exercise(s), 1 traffic(s) and 4 flight(s) of the current traffic

Figura 177: Lista de tráfico de TMA completo con llegadas a LEPA del caso 4

Una vez todo ha sido validado y los perfiles generados, se hará uso de la herramienta ART ANALYSIS para la obtención de resultados.

### 3.3.1.- Resultados

Lo primero será obtener una lista de los conflictos de la simulación. Posteriormente se extraerán de nuevo gráficas sobre la carga de los sectores y la fluidez de las aerovías.

Start Time	Type	Callsign1	Sector1	Callsign2	Sector2	Min H/S	Min V/S
12:20:00	VI	UX1706	APP	WT7773	APP	0,00	0
12:30:20	HN	NT5100	APP	IB8626	APP	3,54	1
12:35:00	VI	FR4614	APP	FR7205	APP	0,00	0
12:40:00	VI	LS258	APP	VY3950	APP	0,00	0
12:40:10	SE	UX6037	APP	LS258	APP	2,60	0
12:40:10	SE	UX6037	APP	VY3950	APP	2,33	2
12:55:00	VI	FR7510	MXK	IB8963	MXK	0,00	0
13:20:00	VI	EM2583	APP	FR1486	APP	0,00	0
13:20:00	VI	EM2583	APP	VY3905	APP	0,00	0
13:20:00	VI	FR1486	APP	VY3905	APP	0,00	0
13:30:00	VI	EM7583	APP	UX6060	APP	0,00	0
13:38:20	SE	VY3510	IAX	FR8146	IAX	2,98	1
13:50:10	SE	T03214	APP	LS1530	APP	2,78	0

Figura 178: Lista de conflictos de TMA completo con llegadas a LEPA del caso 4

La lista se compone de un total de 14 conflictos, 13 conflictos menos que el Caso 1. Esto supone una reducción de casi el 50% de los conflictos del TMA de Palma.

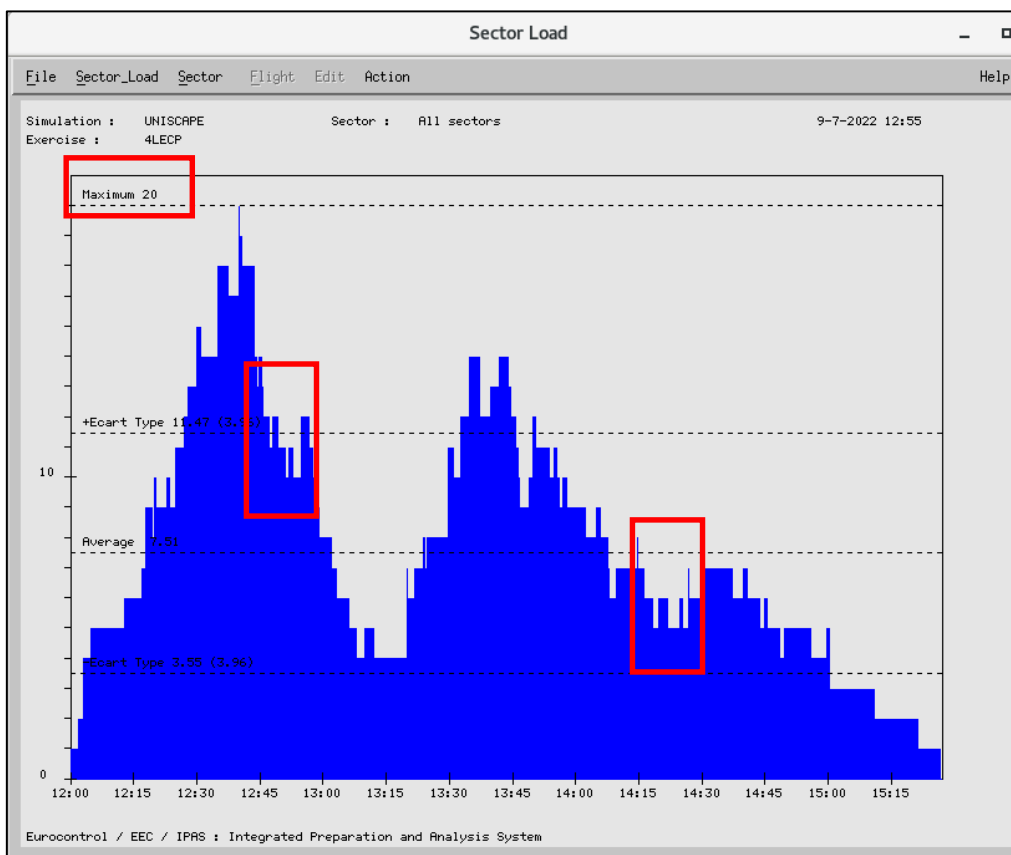


Figura 179: Carda de sector de TMA completo con llegadas a LEPA del caso 4



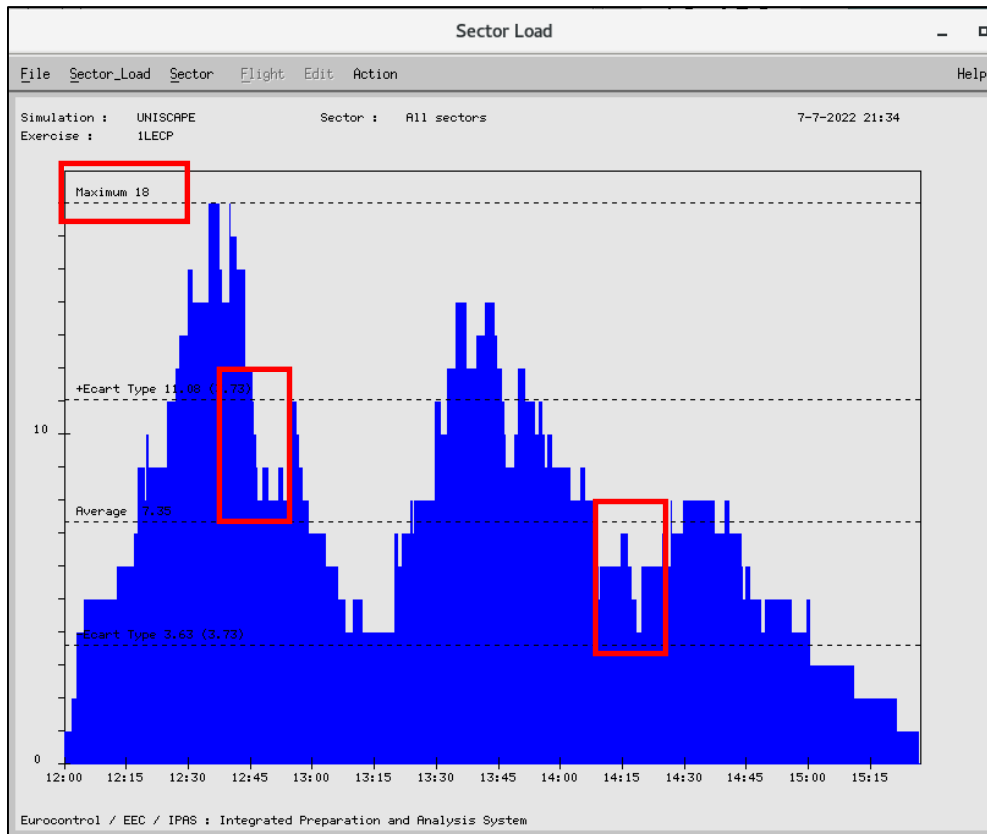


Figura 180: Carga de sector de configuración actual del caso 1

Se puede observar cómo ha habido un aumento del número máximo de aeronaves que permanecen al mismo tiempo en el espacio aéreo, de 18 a 20. También se puede apreciar ligeros aumentos de carga en algunas zonas de la gráfica, pero de nuevo, un cambio poco significativo, teniendo en cuenta que en el Caso 1 las trayectorias de las aeronaves no son del todo reales, ya que no tienen en cuenta indicaciones de controladores ni los propios conflictos.

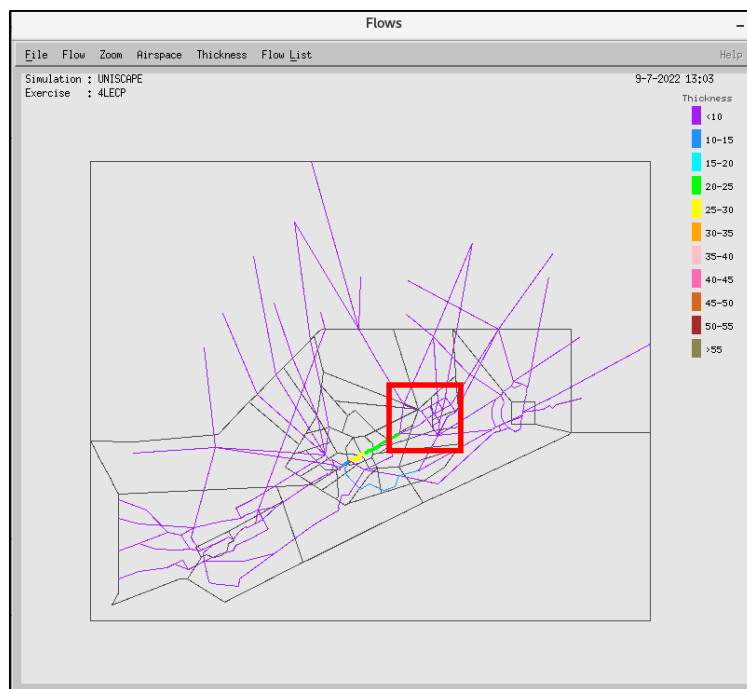


Figura 181: Fluidez de TMA completo con llegadas a LEPA del caso 4

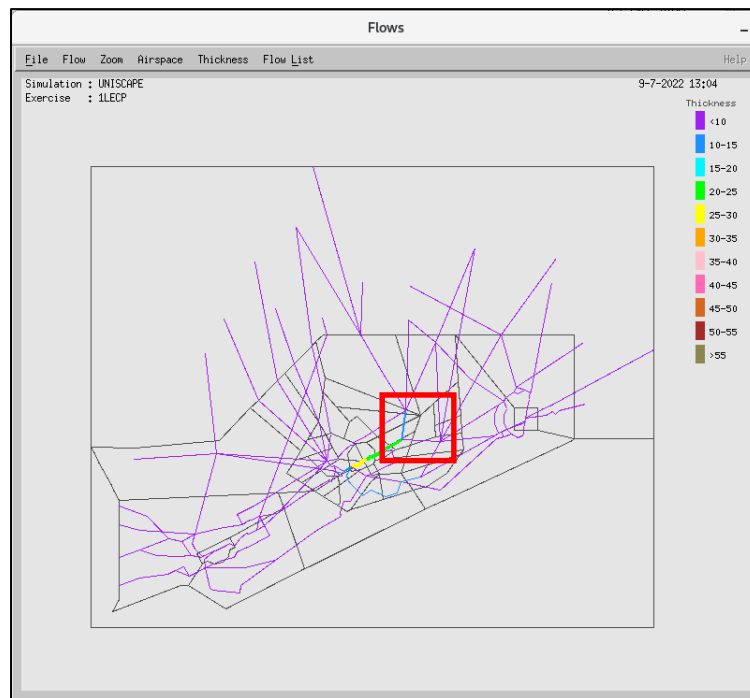


Figura 182: Fluidez de configuración actual del caso 1

Por último, se puede observar cómo ha habido una disminución del número de aeronaves por aerovía en la llegada a Palma, mejorando así la fluidez del caso. Eso, está directamente relacionado con la disminución de conflictos y con el aumento de carga de sector.

## 6.- Conclusiones y trabajo futuro

Para concluir el proyecto, se puede afirmar que se ha conseguido elaborar una metodología funcional de creación de simulaciones en el software ESCAPE. Conformada por una serie de pasos y figuras, explica un proceso correcto de creación de ejercicios de simulación en ESCAPE, válido para cualquier caso que se quiera aplicar y sin fallos a la hora de su ejecución final.

Por otra parte, también se han conseguido unos resultados prometedores en cuanto se refiere a la implementación de la metodología y los estudios de caso. Se puede afirmar que la herramienta es innovadora y posee un gran potencial en cuanto a la automatización y simulación de tráfico aéreo se refiere, ya que con una simple propuesta de procedimiento para un caso particular de llegadas al aeropuerto de LEPA se ha conseguido ordenar todo el tráfico de llegadas, además de resolver conflictos y mejorar la fluidez.

Estos no son, sin embargo, nada más que los primeros pasos dentro del campo de la simulación y automatización del control del tráfico aéreo.

Los resultados obtenidos no son válidos y aplicables directamente a ningún espacio aéreo, ya que este cambio supondría una gran revolución en el sector, por lo tanto, como es obligatorio en aviación, se debe de primar la seguridad y un único estudio de caso está lejos de serlo. Sin embargo, siguiendo el camino en búsqueda de esta seguridad es como se conseguirá mejorar estos tipos de estudios y las herramientas para ellos.

Para que algo sea seguro significa que tal seguridad debe de ser demostrable, por lo que para obtener estudios que determinen la seguridad de este tipo de procedimientos o algoritmos se debería de aumentar considerablemente la muestra de tráfico a la que se aplica. Esto permitiría realizar estudios estadísticos que comiencen a ser determinantes. Ya que ESCAPE no tiene una herramienta de generación de tráfico aleatorio dado un determinado escenario, en un futuro es clave conseguir dicha aleatorización, ya sea implementada directamente por ESCAPE o generada por una herramienta externa.

Lo interesante sería que estos datos aleatorios no lo fuesen al 100%, si no que fueran personalizables, por ejemplo, definiendo cantidad de aeronaves de la simulación o la dificultad con las que estas entran y salen del espacio aéreo. Esto permitiría realizar estudios de estrés personalizado e incluso puntuar procedimientos y algoritmos y comparar sus resultados.

Por último, pero también determinante, la aleatorización del tráfico aéreo permitiría la introducción de algoritmos de machine learning para estudios de tráfico, donde no sólo se tendría en cuenta el algoritmo base introducido como es este caso, sino que iría mejorando. Además, estos algoritmos se podrían entrenar con la gran cantidad de datos que generan los simuladores actuales.

### **III PLIEGO DE CONDICIONES**

## 1.- Pliego de condiciones. Introducción

El pliego de condiciones será el encargado de recoger aquellos aspectos y requisitos a considerar para que el desarrollo del proyecto expresado en la memoria y el manual se realice de forma segura, en términos de entorno de trabajo, diseño, etc. En él, se detallan técnicas como regulaciones y factores de trabajo a tener en cuenta para el correcto desarrollo del proyecto.

## 2.- Condiciones Generales

Las condiciones generales reúnen diferentes aspectos que hacen referencia al entorno de trabajo y estructura en la que se desarrolla el proyecto. El ingeniero que lo realice deberá de atenerse a los artículos de El Real Decreto 488/1997, que establece una serie de disposiciones mínimas de salud y seguridad para reducir los problemas o situaciones de riesgo durante el transcurso de este. Este hecho es de vital importancia, ya que se considera el desarrollo del proyecto como un trabajo en el que se emplean pantallas de visualización, por lo que es necesario conocer el Decreto en cuestión, con el objetivo de evitar lesiones y cualquier otro tipo de riesgo laboral que derive de un mal uso de pantallas.

### 2.1.- Supervisión

La realización del presente proyecto está supeditada a una supervisión por parte del profesor tutor responsable del mismo. El responsable en cuestión deberá de tener amplios conocimientos y experiencia en el campo de la navegación aérea y organización del espacio aéreo, dominando conceptos de ATC, sistemas y tratamiento de datos, así como los procedimientos para la certificación de este tipo de proyectos.

### 2.2.- Conocimientos específicos

Del mismo modo, el ingeniero ejecutor del proyecto deberá conocer diferentes conceptos de navegación y tener la capacidad de trabajar con diferentes tipos de software y documentación, al mismo tiempo que conoce herramientas de transformación de datos. Deberá ser capaz de obtener gran cantidad de datos, introducirlos e interpretar los resultados, para así extraer conclusiones de los mismos, determinando si estos son válidos o no, teniendo en cuenta consecuencias y posibles errores.

### 2.3.- Correcto uso de pantallas virtuales

La mayor parte del proyecto se efectuará con la utilización de pantallas virtuales, por lo que se deben de seguir todas las recomendaciones y obligaciones dispuestas en los siguientes documentos para la correcta realización de la actividad:

- **NTP 678: Pantallas de visualización: tecnologías (I)**

- **NTP 694: Pantallas de visualización: tecnologías (II)**
- **NTP 252: Pantallas de visualización de Datos: condiciones de iluminación**
- **NTP 602: El diseño ergonómico del puesto de trabajo con pantallas de visualización: el equipo de trabajo**

### 3.- Condiciones técnicas de material y equipamiento

#### 3.1.- Software

Se detalla la lista de software empleado en el proyecto, cuyas especificaciones y condiciones se podrán consultar en los manuales respectivos de cada uno de estos:

- **Microsoft Office:** Paquete de ofimática en la presentación de resultados, elaboración de documentos y presentaciones, además del tratado de información y creación de funciones.
- **Adobe Acrobat Reader:** Formato principal de documentación.
- **MATLAB:** Software auxiliar empleado para la generación de algunos datos a introducir.
- **Flightradar24:** Sitio web con suscripción que arroja información sobre aeronaves del espacio aéreo mundial.
- **INSIGNIA:** Herramienta online de ENAIRE para la visualización y obtención de datos del espacio aéreo español.
- **ESCAPE:** Software principal del proyecto con el que se creará, efectuará y se obtendrán resultados de la simulación.

#### 3.2.- Hardware

El software descrito implica una serie de especificaciones a cumplir por el equipo informático a utilizar. De todos los mencionados, los requisitos mínimos de ESCAPE se deben de tener en cuenta especialmente:

- **Procesador Intel(R) Core(TM) i7-7700HQ CPU 2.80 GHz o superior.**
- **Memoria RAM de 16 Gb o superior.**
- **50 Gb de memoria de almacenamiento o superior**

Se quiere hacer hincapié en que estos requisitos son mínimos, y que para simulaciones más fluidas o complejas se exigen requerimientos mayores.

#### 3.3.- Conexión a Internet

El desarrollo del proyecto requiere de una conexión estable a internet, puesto que se debe trabajar en todo momento con el correo electrónico disponible y el acceso a Microsoft Teams para resolución de dudas por parte del tutor u otros organismos competentes. Además, se hace uso de diversas herramientas online, como INSIGNIA, Windfinder o se necesita acceder a bases de datos en la nube.

### 3.4.- Material Adicional

En el proyecto se usa gran cantidad de datos, por lo que se necesitará de gran cantidad de documentos que validen que dichos datos obtenidos y a introducir son correctos.

## **IV PRESUPUESTO**



## 1.- Desglose de Presupuesto

Mediante el presente presupuesto se pretende reflejar el valor económico que supondría la realización del proyecto descrito en este documento por un ingeniero recién titulado, atendiendo a conceptos generales, como gastos de personal, equipamiento y emplazamiento.

De manera previa al análisis de cada uno de los elementos a incluir en el presupuesto, cabe mencionar que se estima una duración del proyecto de 24 semanas (6 meses), desde el primer contacto con la herramienta hasta la ejecución del proyecto y elaboración del manual.

### 1.1.- Coste de equipamiento y software

En este apartado se incluyen los equipos y licencias empleadas para el desarrollo del proyecto. Además, se incluye únicamente el valor de dichos recursos durante el periodo de trabajo, que es de 6 meses.

Se ha elegido el equipo Mantis Nano 7 Pro GTX-1050Ti de simulación, con unas prestaciones algo superiores a las mínimas, para el correcto desarrollo del proyecto:

- **Procesador Intel Core i7 8700, 6 núcleos, 12 hilos de ejecución con hyperthreading a 3.20 GHz, 4.60 GHz con turbo y 12 Mb de memoria caché L3. 16 vías PCI Express.**
- **Disipador de calor Noctua NH L12, con ventilador de 120mm y 1300 rpm.**
- **Placa Madre Mini-ITX ASUS ROG STRIX Z370-I Gaming diseñada para la 8ª generación de procesadores Intel® Core™ (Coffee Lake)**
- **Puerto Gigabit LAN 10/100/1000 Mb/s Intel I219V con tecnología Gamefirst IV y Anti-Surge LANGuard**
- **Wi-Fi a/b/g/n y ac+ con soporte de frecuencias 2,4 GHz y 5 GHz con soporte MU-MIMO hasta 867 Mbps de velocidad de transferencia**
- **Bluetooth 4.2**
- **Tarjeta de sonido Realtek® ALC S1220A de 8 canales de alta definición SupremeFX con 120 dB SNR en la salida de línea de la parte trasera y 113 dB SNR en la entrada de línea y un sonido sin pérdidas a 192 kHz / 32-Bit.**
- **16 GB. de Memoria RAM DDR4 a 2400 MHz. Kingston HyperX Savage Black con una latencia de 12-13-1**
- **Almacenamiento SSD de 250 GB. Samsung 970 EVO M.2 NVMe, M2, 3.400 MB/s de lectura, 1.500 MB/s de escritura.**
- **Disco Híbrido de 2 TB. Seagate Firecuda SSHD SATA 3 (6 GB/s.), 64MB. De Caché y 156 MB/s de media de lecturas.**
- **Tarjeta Gráfica NVIDIA GeForce GTX 1050Ti MSI 4 GT Low Profile con 768 núcleos, 4 GB de memoria GDDR5 y overclocking de serie.**
- **Lector / Grabador de DVD y CD LG GH24NSC0**
- **Windows 10 Pro / Home a 64 bits.**

La siguiente lista define los costes de equipo y software:

<b>Coste de Equipos y Software</b>				
<b>Recurso</b>	<b>Coste total (€)</b>	<b>Periodo total de amortización (meses)</b>	<b>Periodo amortizado en el proyecto (meses)</b>	<b>Importe total (€)</b>
Mantis nano 7 Pro GTX-1050 Ti	1.726,99	72	6	143,91
Licencia Microsoft Office 365	69,00	12	6	34,50
Licencia MATLAB	800,00	12	6	400,00
Subscripción Gold FlightRadar24	34,99	12	6	17,50
INSIGNIA	00,00	12	6	00,00
ESCAPE	00,00	12	6	00,00
<b>Subtotal Equipos y Software</b>				<b>595,90</b>

Figura 183: Tabla de coste de equipo y software

## 1.2.- Coste de oficina y derivados

Para la realización del proyecto se debe considerar el espacio físico en el que se ha realizado. Se ha procedido al alquiler una oficina para trabajar.

En este apartado, se encuentran los costes de alquiler de la misma junto con sus derivados, que incluyen facturas de la luz o el acceso a internet, entre otros.

<b>Coste de oficina y derivados</b>			
<b>Recurso</b>	<b>Coste mensual (€)</b>	<b>Periodo amortizado en el proyecto (meses)</b>	<b>Importe total (€)</b>
Alquiler Oficina	225,00	6	1350,00
Gastos derivados	50,00	6	300,00
<b>Subtotal oficina y derivados</b>			<b>1650,00</b>

Figura 184: Tabla de coste de oficina y derivados

## 1.3.- Coste de personal

Para la elaboración de un informe de los gastos de personal se ha estimado un trabajo de 25 h semanales por parte del ingeniero titulado. También se ha sumado la labor del profesor tutor, responsable del proyecto con una participación de 25 h totales. De acuerdo a estos parámetros, se ha evaluado el suelo horario de los integrantes del proyecto con respecto a las medidas establecidas en España.

<b>Coste de personal</b>			
<b>Recurso</b>	<b>Coste horario (€/h)</b>	<b>Horas empleadas</b>	<b>Importe total (€)</b>
Ingeniero titulado	12,00	450	5.400,00
Prof. Ingeniero Doctor	25,00	25	625,00
<b>Subtotal personal</b>			<b>6.025,00</b>

Figura 185: Tabla de coste de personal

## 2.- Presupuesto Total del Proyecto

Tras la recopilación de los tres apartados anteriores, se obtiene un total sin IVA del proyecto, al cual se le debe aplicar un 21% que establece la normativa en España. De este modo, así se expresa el presupuesto final:

<b>Presupuesto del Proyecto</b>	
<b>Concepto</b>	<b>Subtotal (€)</b>
Equipos y software	595,90
Oficina y derivados	1.650,00
Personal	6.025,00
<b>Total sin IVA</b>	<b>8.270,90</b>
IVA (21%)	1.736,89
<b>TOTAL PROYECTO</b>	<b>10.007,79</b>

Figura 186: Tabla de presupuesto del proyecto

El coste total del proyecto es de 10.007,79 €. **DIEZ MIL CIENTO SIETE EUROS Y SETENTA Y NUEVE CÉNTIMOS.**

## Referencias

- [1] EUROCONTROL: *Escape\_Light\_Pltf\_Installation-guide-v5-2.doc*. Junio 2020.
- [2] EUROCONTROL: *UG\_IPAS\_a\_Simulation\_StepbyStep\_part2\_v.1.1.2.doc*. Junio 2020.
- [3] EUROCONTROL: *02-STC-IPAS Overview (PHB) - ESCAPE Light.pptx*. Junio 2020.
- [4] EUROCONTROL: *2.2-ALL-ESCAPE Overview.pptx*. Junio 2020.
- [5] EUROCONTROL: *03-ALL-ESCAPE Dataflow V2 - ESCAPE Light.pptx*. Junio 2020.
- [6] EUROCONTROL: *3.1-STC-ESCAPE Light INFRA SPV.pptx*. Junio 2020.
- [7] EUROCONTROL: *04-STC-ESCAPE Exercise Delivery and Installation ACE2019A - ESCAPE Light.pptx*. Junio 2020.
- [8] EUROCONTROL: *05-STC-ESCAPE Light Survival Kit ACE2019A - ESCAPE Light - V1.4.pptx*. Junio 2020.
- [9] EUROCONTROL: *13.1-STC-STORIA and SAT Overview.pptx*. Junio 2020.
- [10] EUROCONTROL, Base of aircraft data: <https://www.eurocontrol.int/model/bada>