



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

ESTUDIO DE LA INTRODUCCIÓN DE PROCEDIMIENTOS POINT MERGE EN UN TMA COMPLEJO

Trabajo de final de Grado en ingeniería aeroespacial



Autor: Jorge Mota Madrid
jormomad@etsid.upv.es

Tutor: Pedro Yuste Pérez
pyuste@disca.upv.es

Tabla de contenido

1	Objetivos	5
2	Antecedentes.....	7
2.1	El aeropuerto de Alicante-Elche	7
2.1.1	Rutas de aproximación al aeropuerto	9
2.2	Point Merge.....	22
2.3	Programa NEST.....	24
2.3.1	Eurocontrol.....	24
2.3.2	El programa NEST	26
2.3.3	Ciclos AIRAC	27
2.4	Teoría de colas.....	28
2.4.1	Procesos estocásticos	31
3	Propuesta	33
3.1	Rutas propuestas.....	33
3.2	Franqueamiento de obstáculos	39
3.2.1	Franqueamiento de obstáculos en ILS	41
4	Cálculos	44
4.1	Cálculos en teoría de colas	44
4.2	Rutas propuestas.....	48
4.3	Franqueamiento de obstáculos	51

4.3.1	Franqueamiento de obstáculos en el ILS	59
5	Conclusiones.....	62
6	Bibliografía.....	66

Tabla de ilustraciones

<i>Ilustración 1: Vista aérea del aeropuerto</i>	7
<i>Ilustración 2: TMA de España</i>	8
<i>Ilustración 3: Carta STAR en la cabecera 28</i>	10
<i>Ilustración 4: Representación de la STAR 28 en Google Earth</i>	11
<i>Ilustración 5: Carta de llegada por instrumentos cabecera 28</i>	11
<i>Ilustración 6: Carta SID en la cabecera 28</i>	12
<i>Ilustración 7: Representación de la SID 28 en Google Earth</i>	13
<i>Ilustración 8: Vistas superior e inclinada de los procedimientos en pista 28</i>	14
<i>Ilustración 9: Carta STAR en la cabecera 10</i>	16
<i>Ilustración 10: Representación de la STAR 10 en Google Earth</i>	17
<i>Ilustración 11: Carta ILS cabecera 10</i>	17
<i>Ilustración 12: Carta SID en la cabecera 10</i>	19
<i>Ilustración 13: Representación de la SID 10 en Google Earth</i>	20
<i>Ilustración 14: Vista superior e inclinada de la cabecera 10</i>	21
<i>Ilustración 15: Ejemplo de Procedimiento Point Merge</i>	23
<i>Ilustración 16: Interfaz del programa</i>	26
<i>Ilustración 17: Interfaz del estudio de salidas y entradas</i>	27
<i>Ilustración 18: Representación visual de los datos</i>	33
<i>Ilustración 19: Representación visual de los datos</i>	34
<i>Ilustración 20: En rojo, arco del procedimiento en pista 10</i>	35
<i>Ilustración 21: En rojo, las rutas entre el arco y el punto</i>	36
<i>Ilustración 22: Aproximación VOR y Point Merge</i>	37
<i>Ilustración 23: Unión entre los procedimientos existentes y el nuevo</i>	38

<i>Ilustración 24: Unión entre los procedimientos existentes y el nuevo.....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 25: Franqueamiento en cabecera 10.....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 26: Franqueamiento de obstáculos en cabecera 1o.....</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 27: Ilustraciones de las superficies ILS de evaluación de obstáculos.....</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 28: Ilustración de las superficies de evaluación de obstáculos ILS.....</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 29: Sistema de Coordenadas del umbral.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 30: Extracto del resultado en formato Excel.....</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 31: Parte del programa TeoriaCOLAS.....</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 32: Ejemplo de los resultados sin filtrar.....</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 33: Resultados resumidos del estudio.....</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 34: Resultados del ciclo 1507.....</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 35: Explicación del punto E.....</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 36: Referencia para la construcción de la plantilla.....</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 37: Viraje de base convencional.....</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 38: Plantilla RNAV.....</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 39: En naranja, la superficie limitadora de obstáculos.....</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 40: Vista superior de la superficie.....</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 41: Perfil vertical.....</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 42: Superficie limitadora en cabecera 28.....</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 43: Vista vertical de la superficie.....</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 44: Valores usados.....</i>	<i>58</i>
<i>Ilustración 45: Programa para los cálculos.....</i>	<i>58</i>
<i>Ilustración 46: Fragmento del programa.....</i>	<i>59</i>
<i>Ilustración 47: Constantes y coordenadas OAS.....</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 48: Superficies OAS.....</i>	<i>60</i>

Memoria

1 Objetivos

El objeto de este proyecto es el diseño de una aproximación con procedimientos Point Merge a un TMA existente y complejo. El diseño tendrá en cuenta parámetros como la orografía del terreno, las esperas existentes, así como las rutas establecidas en el momento de la realización del mismo. Por otro lado, también se estudiarán las aproximaciones actuales para justificar la inclusión de este tipo de procedimiento dentro del TMA.

El aeropuerto elegido ha sido el de Alicante-Elche, uno de los aeropuertos de la península con mayor tráfico anual de aviones y pasajeros. El TMA al que pertenece es de Valencia, que tiene dos zonas de control, la correspondiente al aeropuerto de Valencia y la del aeropuerto de Alicante.

Una vez elegido el TMA sobre el que vamos a realizar el estudio, debemos comprobar que por su situación y su estado actual es conveniente crear una aproximación que utilice navegación de área y procedimientos point Merge, para ello, estudiaremos las rutas actuales de aproximación y salidas por instrumentos y respetaremos su posición.

Una vez propuestas las nuevas rutas, debemos asegurarnos que cumplen con todos los requisitos de seguridad y operatividad mediante un área de franqueamiento de obstáculos y comprobando la sectorización del espacio aéreo en la zona afectada.

Para todo este estudio nos valdremos de herramientas informáticas como Matlab y NEST que nos permitan obtener la información que necesitamos para ofrecer una solución al estudio. Detallaremos todo el proceso en sus respectivos

apartados y lo ilustraremos con imágenes obtenidas durante el desarrollo del trabajo.

2 Antecedentes

2.1 El aeropuerto de Alicante-Elche

Situado en El Altet, en el término municipal de Elche, es el sexto aeropuerto del país por tráfico de pasajeros, con más de 10 millones y medio el pasado año y con más de 72.000 operaciones. [1]



Ilustración 1: Vista aérea del aeropuerto

Con estos números, se hace patente que es un aeropuerto con una gran actividad y los controladores encargados de la aproximación al mismo podrían beneficiarse de las ventajas de una aproximación siguiendo procedimientos Point Merge.

Actualmente el aeropuerto solo tiene una pista en uso, con orientaciones 10 y 28, la cual puede usarse en configuración Este o configuración oeste. Su uso mayoritario es en configuración este, usando la cabecera 10. [2]

El control TMA (*Terminal Manoeuvre Area*, Área terminal de maniobras) del área del aeropuerto de Alicante lo tiene el TMA de Valencia, que está dividido entre la zona terminal del aeropuerto de Valencia y el de Alicante. Se ha elegido la de Alicante por el aumento de complejidad que presenta el mayor tráfico que vuela hacia ese aeropuerto.

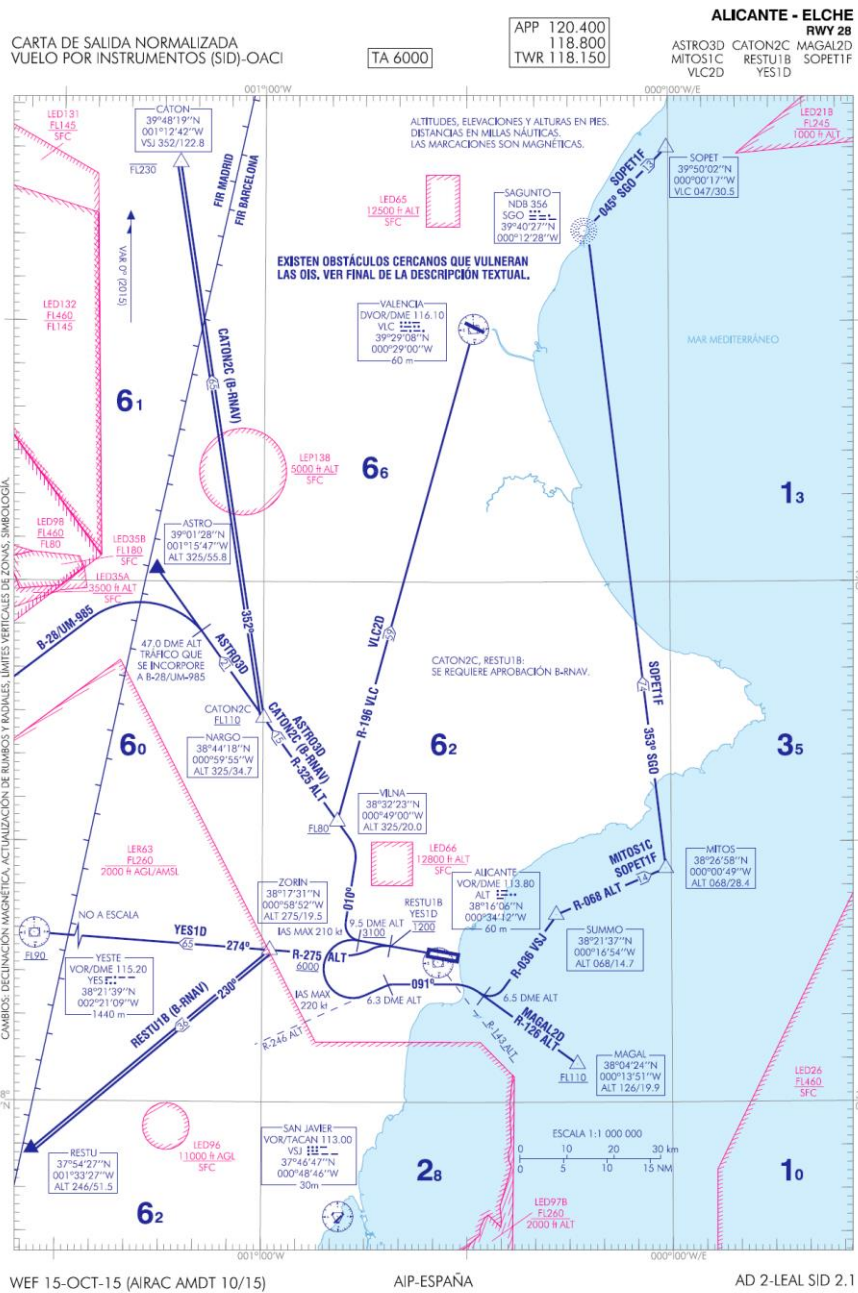


Ilustración 2: TMA de España

El control TMA es que se proporciona a las aeronaves en procesos de aproximación que parten de aerovías reguladas, en movimientos IFR. Por tanto, no proporcionan control a otras aeronaves que vuelen bajo reglas de vuelo visual. [3] Cuando una aeronave deja el control de un FIR o UIR en ruta, pasa a ser controlada por el control TMA que le corresponde.

2.1.1 Rutas de aproximación al aeropuerto

A continuación describimos las distintas aproximaciones que presentan las dos orientaciones de la pista. Empezando por la cabecera 28, adjuntamos la carta de navegación aérea que proporciona AENA desde su servicio AIP.



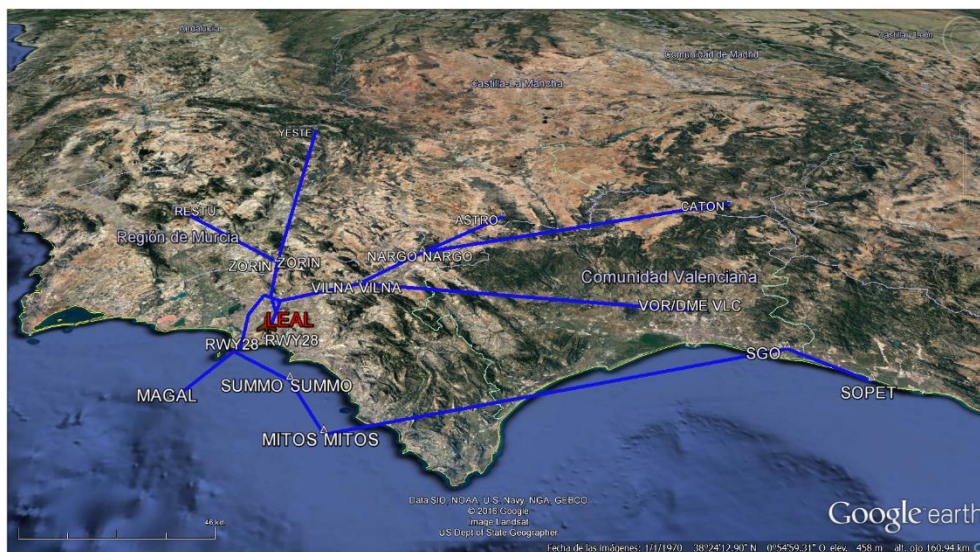


Ilustración 7: Representación de la SID 28 en Google Earth

En la carta, podemos observar hasta 8 rutas distintas de aproximación al aeropuerto cuando la pista en servicio es la 28, 5 de las cuales comparten el mismo IAF (Initial approach fix). A partir del IAF empiezan los procedimientos de descenso y aproximación a pista que vemos en la carta correspondiente, por lo que este punto podría ser usado como referencia para la creación de nuestro arco Point Merge.

Los procedimientos de aproximación final son convencionales, y no contemplan las aproximaciones de precisión como el ILS. Esta situación puede ser limitante para la instalación de un procedimiento Point Merge que sí es de precisión.

Por la distribución del viento en la zona, esta pista es usada muy poco, y la configuración oeste es la principal.

Añadimos también la vista en 3D de las salidas y entradas por pista 28, generadas en Google Earth. En verde quedan las aproximaciones y en azul las salidas.

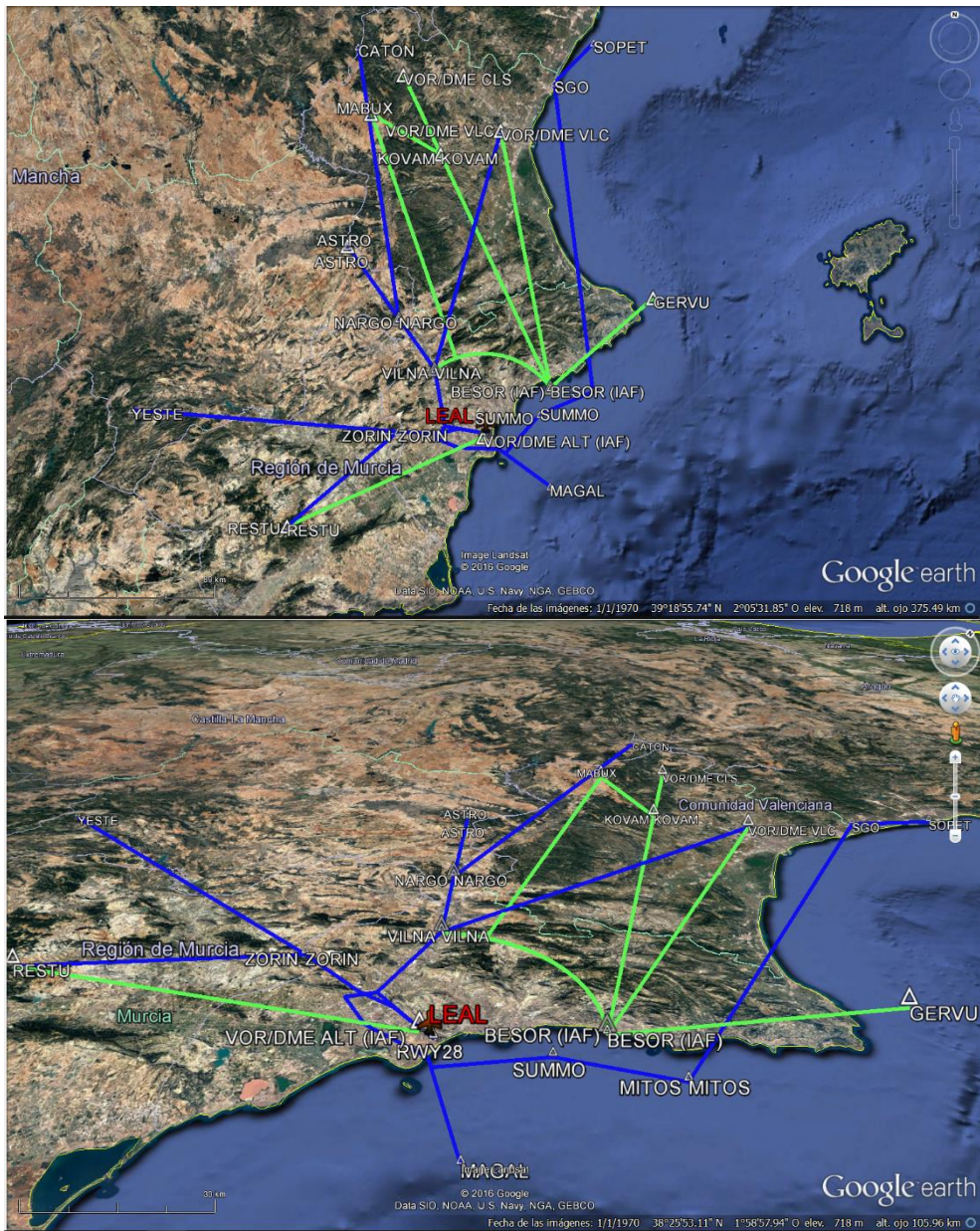


Ilustración 8: Vistas superior e inclinada de los procedimientos en pista 28

En la visualización conjunta, vemos que las únicas posiciones posibles para nuevos procedimientos de entrada estarían en las cercanías de MITOS, bien al este o al sur del punto.

Ahora veremos las aproximaciones usadas habitualmente, las de pista 10. Igual que antes, representaremos todos los procedimientos de entrada y salida por esta cabecera en su carta de navegación y virtualmente en Google Earth.

Si abrimos la carta de llegada por instrumentos, nos encontramos con que la cabecera 10 de la pista está equipada con un sistema ILS de categoría I. Cuando coloquemos nuestro procedimiento nuevo, debemos asegurarnos de ser compatible con la operación normal del ILS para aterrizajes por otros procedimientos.

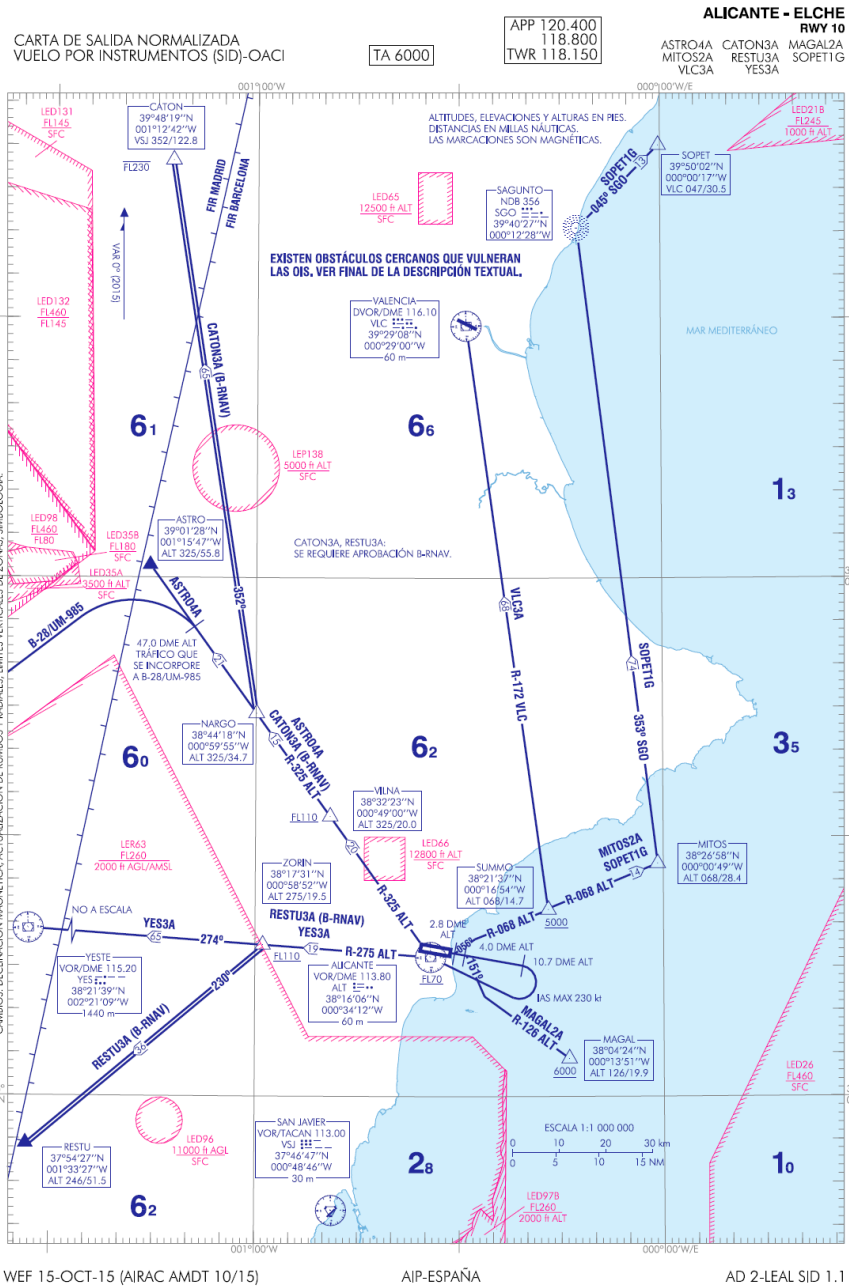


Ilustración 12: Carta SID en la cabecera 10

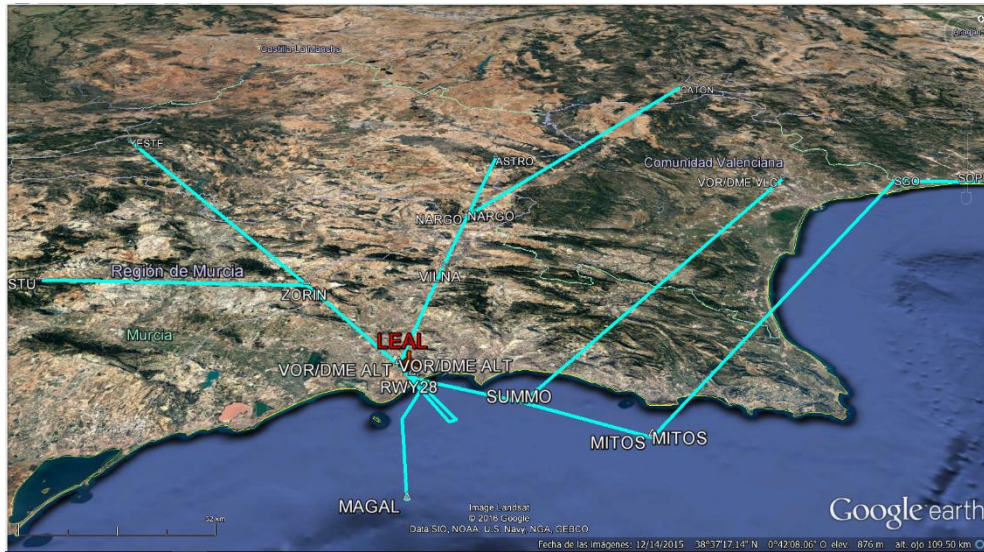


Ilustración 13: Representación de la SID 10 en Google Earth

A continuación veremos ambos procedimientos de entrada y salida representados en Google Earth, tal y como hicimos con la cabecera 28. En color turquesa veremos los procedimientos de salida y en amarillo los de entrada.

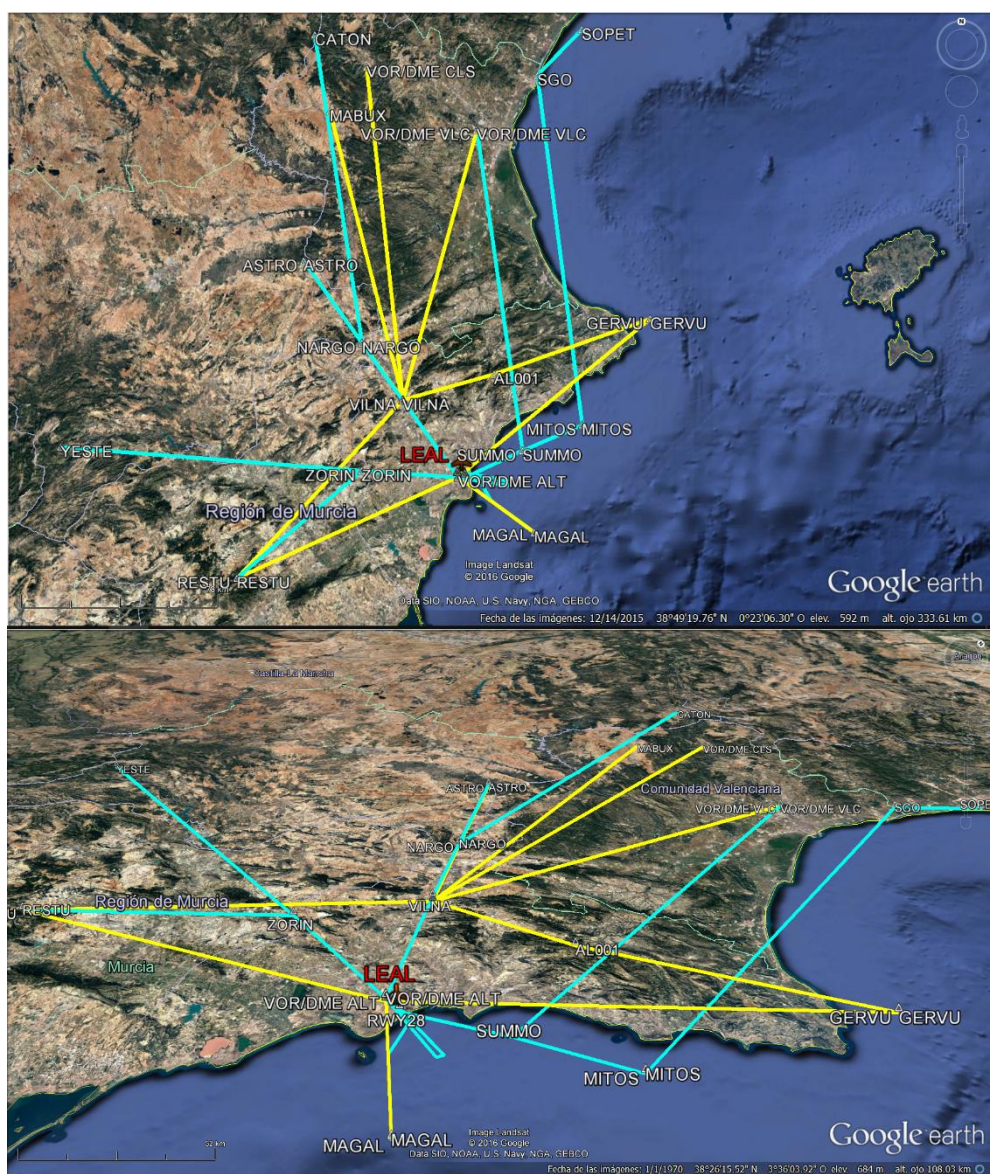


Ilustración 14: Vista superior e inclinada de la cabecera 10

De nuevo, buscamos entre las rutas existentes un hueco para colocar nuestro procedimiento Point Merge. El triángulo formado por el aeropuerto, VILNA y ZORIN parece un buen sitio, aunque se sitúe cerca de una zona

montañosa. Esta elevación del terreno podrá ser decisiva o no, según lo que diga el franqueamiento de obstáculos. También podría interferir con la normal utilización de los procedimientos ILS, así que lo alejaremos cuanto sea necesario.

2.2 Point Merge

Actualmente, las aproximaciones a aeropuertos con mucho tráfico se realizan de la manera convencional: una ruta prefijada, compuesta por distintos waypoints, entre los que se intercalan circuitos de espera que desemboca en un ILS para la aproximación final.

El problema de estas aproximaciones es que necesitan un guiado constante por parte de los controladores, que indican a los pilotos cuando deben entrar, hacer una espera, o a que nivel de vuelo situarse para evitar conflictos con otras aeronaves.

Con el sistema Point Merge se pretende aliviar esta carga de trabajo para los controladores, facilitar las rutas para los pilotos, y mejorar la eficiencia total de la ruta, limitando los cambios de altura bruscos y acortando el tiempo total en esperas.

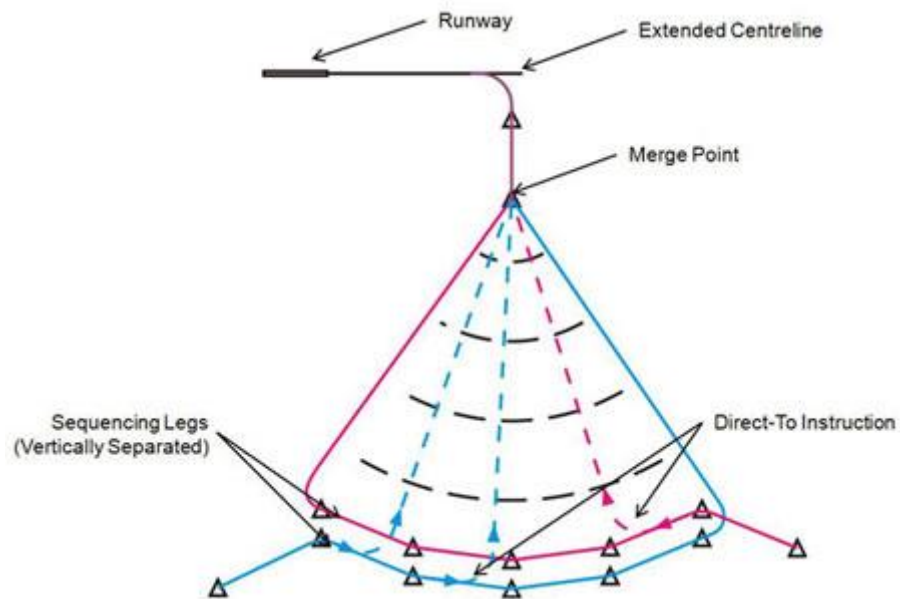


Ilustración 15: Ejemplo de Procedimiento Point Merge

Este sistema consiste en rediseñar el espacio aéreo de llegadas, prescindiendo de los últimos waypoints antes del IAF y sustituyéndolos por un único punto común (Merge Point) que actúa como último waypoint antes del circuito ILS, al cual se llega a través de un “abanico de rutas” en pendiente constante. Todas las rutas con destino a la misma pista desembocan en un arco centrado en el Merge Point, por el que circulan hasta que reciben el permiso del control ATC para descender hacia el punto común. De esta manera estamos resolviendo dos problemas: evitamos las esperas al integrarlas en el arco DME, y también evitamos el descenso fragmentado a varios niveles sustituyéndolos por una pendiente continua.

Las ventajas de los procedimientos Point-Merge se notan principalmente en TMAs con un tráfico elevado, puesto que la simplificación de las rutas ayuda a los controladores a mantener el mayor número posible de aeronaves en una ruta y evitar el uso de esperas si no fuera estrictamente necesario.

Los mayores beneficios de incluir sistemas de Point Merge pasan por el aumento de la capacidad, la seguridad y la eficiencia de los sistemas de navegación aérea, además de la reducción de emisiones y consumo de combustible de las aeronaves.

La capacidad de un espacio aéreo está íntimamente relacionada con la cantidad de vuelos que un controlador puede gestionar a la vez. Con un sistema de point merge, la fase de aproximación se simplifica drásticamente para los controladores, con lo que pueden manejar más aeronaves a la vez, sin perder el nivel actual de seguridad.

Usando un sistema Point merge englobado en un sistema de precisión P-RNAV, la seguridad en las operaciones se mantiene intacta, si es que no aumenta, a pesar del mayor número de aviones en el aire. Las herramientas de las que los controladores disponen les permiten reducir el vectorizado táctico en el plano horizontal mediante la capacidad de gestionar el tráfico también en el plano vertical con mayor libertad.

Por último, las ventajas operativas para las compañías pasan por las CDA, o aproximaciones en descenso continuo, que les permiten reducir el consumo de combustible, además de las emisiones de gases al reducir la potencia necesaria para un descenso en escalas.

2.3 Programa NEST

2.3.1 Eurocontrol

Eurocontrol es el nombre usado para la Organización Europea para la Seguridad de la Navegación Aérea. Esta organización se fundó en Bruselas (Bélgica) en diciembre de 1960, por las naciones de Alemania, Bélgica, Francia, Luxemburgo, los Países Bajos y Reino Unido.

Se trata de una organización civil y militar actualmente integrada por 40 estados miembros que tiene como objetivo el desarrollo de un sistema seguro, eficaz y coordinado del tráfico aéreo europeo.

EUROCONTROL está clasificado como Organismo de Servicio Público Internacional. El funcionamiento diario lo lleva la Agencia que reporta al órgano decisorio, el Consejo, quien a su vez depende del órgano político, la Comisión permanente. El Consejo recibe también los informes de cuatro comités técnicos: el de coordinación entre el control civil y militar, el de seguridad del sistema, el de análisis comparativo del funcionamiento de cada proveedor de servicios y el de desarrollo de elementos comunes.

En 2010 tenía algo más de 3000 empleados y sus costes propios organizativos eran aproximadamente el 0,4% del coste total de las Ayudas a la Navegación Aérea de los Estados miembros. El presupuesto total de la Organización asciende a cerca de 700 millones de euros. El número total de vuelos en el espacio aéreo cubierto ascendió a 9,5 millones con un retraso medio de 2,27 minutos.

El objetivo primordial de Eurocontrol como agencia es la de gestionar, crear y actualizar la red de gestión del tráfico aéreo del continente europeo, gestionar los flujos de tráfico aéreo e incluso proporcionar servicios de control a grandes áreas cuando los estados miembros lo soliciten.

Otro de los objetivos principales de Eurocontrol es gestionar la implementación del concepto conocido como Cielo Único Europeo y la iniciativa SESAR (*Single European Sky ATM Research*, Investigación en gestión del tráfico aéreo del Cielo único Europeo), que está llamado a racionalizar y actualizar todos los factores que influyen en el transporte aéreo y el control de espacios aéreos dentro del continente europeo durante la próxima década. [4]

2.3.2 El programa NEST

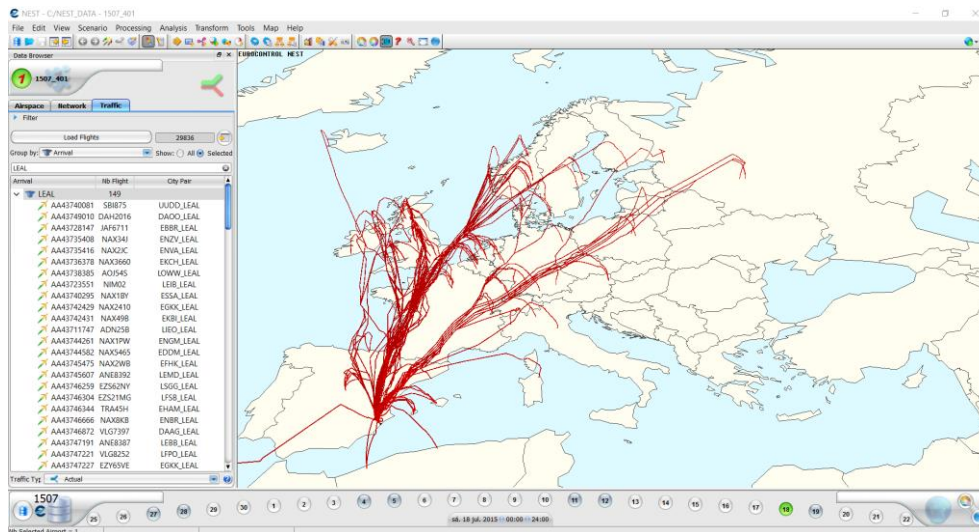


Ilustración 16: Interfaz del programa

Eurocontrol publica un software llamado NEST, un programa único, que no necesita de ningún otro, y combina la capacidad de diseño de espacios aéreos de la herramienta SAAM y la facilidad de uso de NEVAC, ambos programas creados para el diseño de rutas y el estudio de las mismas, ahora unificados en la misma herramienta informática.

Funcionalmente, NEST está basado en escenarios que los usuarios pueden editar a su antojo en cuestiones de planteamientos operacionales. También proporciona capacidad de simulación y análisis en niveles de tráfico, distribución de tráfico en 4D, regulaciones y retrasos, además de proporcionar tablas, informes, indicadores de rendimiento, etc. Y presentarlos en varios formatos.

El programa NEST de Eurocontrol proporciona a controladores, diseñadores de rutas y demás proveedores de servicios de navegación aérea una serie de herramientas que les permiten simular y planificar la capacidad del espacio aéreo europeo. Las capacidades del programa incluyen el diseño de

espacios aéreos, la planificación de la capacidad operativa de estos espacios y su estudio posterior mediante análisis de las operaciones reales, organización de los tráficos en fase estratégica de planificación y además permite crear distintos escenarios para estudios teóricos y simulaciones en tiempo real. [5]

La gran ventaja de NEST es su versatilidad, ya que nos permite tanto trabajar con una gran cantidad de datos a la vez como analizar un vuelo en concreto y realizar un análisis detallado.

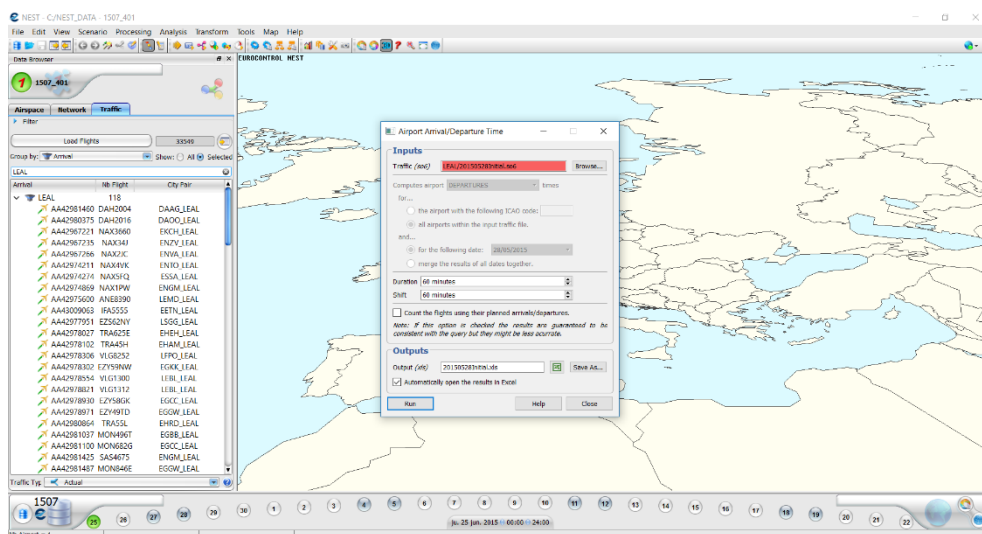


Ilustración 17: Interfaz del estudio de salidas y entradas

2.3.3 Ciclos AIRAC

Los ciclos AIRAC son el periodo de 28 días en el que tienen vigencia distintas partes de los AIP (*Aeronautical Information Publication*, Publicaciones de información aeronáutica). Existen trece ciclos AIRAC para cada año, que no siempre empiezan el día 1 de enero y terminan el día 31 de diciembre, si no que cumplen con los 28 días aunque caigan en años distintos. Estos ciclos se parecen a los calendarios lunares de las culturas hindú o musulmana, que utilizan calendarios basados en los ciclos lunares de aproximadamente 29 días. Se utilizan como una manera racional de dividir el año natural de manera

equivalente. Los ciclos AIRAC que se han utilizado en la realización de este trabajo son los ciclos 1506 y 1507, es decir el sexto y el séptimo ciclo del año 2015, que equivaldrían del 28 de mayo al 24 de junio, y del 25 de junio al 23 de julio.

El uso de estos ciclos está justificado con la alta estacionalidad del aeropuerto de Alicante. En la temporada baja de invierno, la afluencia de tráfico disminuye notablemente, así que no tendría sentido buscar un procedimiento que alivie la presión del control de tráfico aéreo cuando esta presión no llega a su máximo hasta los meses de verano, cuando las operaciones del aeropuerto se multiplican hasta dos veces las que llegan en invierno. [6]

Eurocontrol publica los resultados de cada ciclo en su página web de servicios aeronáuticos, por la que uno debe registrarse como usuario para acceder a la misma, y la solicitud debe ser aprobada por Eurocontrol como medida de seguridad. [7]

2.4 Teoría de colas

La teoría de colas es el estudio matemático de las colas o líneas de espera dentro de un sistema. Esta teoría estudia factores como el tiempo de espera medio en las colas o la capacidad de trabajo del sistema sin que llegue a colapsarse. Dentro de las matemáticas, la teoría de colas se engloba en la investigación de operaciones y es un complemento muy importante a la teoría de sistemas y la teoría de control. Se trata así de una teoría que encuentra aplicación en una amplia variedad de situaciones como negocios, comercio, industria, ingenierías, transporte y logística o telecomunicaciones.

En el caso concreto de la ingeniería, la teoría de colas permite modelar sistemas en los que varios agentes que demandan cierto servicio o prestación, confluyen en un mismo servidor y, por lo tanto, pueden registrarse esperas desde que un agente llega al sistema y el servidor atiende sus demandas. En este sentido, la teoría es muy útil para modelar procesos tales como la llegada de datos a una cola en ciencias de la computación, la congestión de red de computadoras o de telecomunicación, o la implementación de una cadena productiva en la ingeniería industrial.

Si bien los modelos generados pueden no ser perfectos para reproducir las condiciones reales de la cola, sí que generan la suficiente información como para convertir las colas en sistemas con un comportamiento predecible.

En el contexto de la informática y de las tecnologías de la información y la comunicación las situaciones de espera dentro de una red son más frecuentes. Así, por ejemplo, los procesos enviados a un servidor para su ejecución forman colas de espera mientras no son atendidos; la información solicitada, a través de Internet, a un servidor Web puede recibirse con demora debido a la congestión en la red; también se puede recibir la señal de línea de la que depende nuestro teléfono móvil ocupada si la central está colapsada en ese momento, etc.

La teoría de formación de una cola es a menudo demasiado restrictiva matemáticamente para ser capaz de modelar todas las situaciones verdaderas a nivel mundial. Por ejemplo; los modelos matemáticos a menudo asumen el número de clientes, o la capacidad de la cola infinitos, cuando es evidente que deben estar limitados. Los medios alternativos del análisis de la teoría de colas consisten generalmente en simulaciones de ordenador o en el análisis de datos experimentales.

Las colas se forman debido a un desequilibrio temporal entre la demanda del servicio y la capacidad del sistema para suministrarlo.

En las formaciones de colas se habla de clientes, tales como máquinas dañadas a la espera de ser rehabilitadas. Los clientes pueden esperar en cola debido a que los medios existentes sean inadecuados para satisfacer la demanda del servicio; en este caso, la cola tiende a ser explosiva, es decir, a ser cada vez más larga a medida que transcurre el tiempo. Los clientes pueden que esperen temporalmente, aunque las instalaciones de servicio sean adecuadas, porque los clientes llegados anteriormente están siendo atendidos.

Los elementos de las colas son los siguientes:

- Proceso básico de colas: Los clientes que requieren un servicio se generan en una fase de entrada. Estos clientes entran al sistema y se unen a una cola. En determinado momento se selecciona un miembro de la cola, para proporcionarle el servicio, mediante alguna regla conocida como disciplina de servicio. Luego, se lleva a cabo el servicio requerido por el cliente en un mecanismo de servicio, después de lo cual el cliente sale del sistema de colas.
- Fuente de entrada o población potencial: Una característica de la fuente de entrada es su tamaño. El tamaño es el número total de clientes que pueden requerir servicio en determinado momento. Puede suponerse que el tamaño es infinito o finito.
- Cliente: Es todo individuo de la población potencial que solicita servicio como por ejemplo una lista de trabajo esperando para imprimirse.
- Capacidad de la cola: Es el máximo número de clientes que pueden estar haciendo cola (antes de comenzar a ser servidos). De nuevo, puede suponerse finita o infinita.

- **Disciplina de la cola:** La disciplina de la cola se refiere al orden en el que se seleccionan sus miembros para recibir el servicio. Por ejemplo, puede ser:
 - FIFO (first in first out) primero en entrar, primero en salir, según la cual se atiende primero al cliente que antes haya llegado.
 - LIFO (last in first out) también conocida como pila que consiste en atender primero al cliente que ha llegado el último.
 - RSS (random selection of service) que selecciona los clientes de manera aleatoria, de acuerdo a algún procedimiento de prioridad o a algún otro orden.
 - Processor Sharing – sirve a los clientes igualmente. La capacidad de la red se comparte entre los clientes y todos experimentan con eficacia el mismo retraso.
- **Mecanismo de servicio:** El mecanismo de servicio consiste en una o más instalaciones de servicio, cada una de ellas con uno o más canales paralelos de servicio, llamados servidores.
- **Redes de colas.** Sistema donde existen varias colas y los trabajos fluyen de una a otra. Por ejemplo: las redes de comunicaciones o los sistemas operativos multitarea.
- **Cola:** Una cola se caracteriza por el número máximo de clientes que puede admitir. Las colas pueden ser finitas o infinitas.
- **El proceso de servicio:** Define cómo son atendidos los clientes.

2.4.1 Procesos estocásticos

Los procesos estocásticos o funciones aleatorias son, dicho de una manera sencilla, variables aleatorias que dependen de un parámetro que se interpreta

normalmente como una representación del tiempo o el espacio. Este parámetro se denomina argumento de la función o del proceso, y puede haber varios. En caso de argumento temporal, t , éste representará instantes de tiempo; en caso de argumento espacial, s , sus valores harán referencia a localizaciones espaciales.

Dentro de la teoría de la probabilidad un proceso estocástico es un concepto matemático que sirve para tratar con magnitudes aleatorias que varían con el tiempo, o más exactamente para caracterizar una sucesión de variables aleatorias (estocásticas) que evolucionan en función de otra variable, generalmente el tiempo. Cada una de las variables aleatorias del proceso tiene su propia función de distribución de probabilidad y pueden o no, estar correlacionadas entre ellas.

Cada variable o conjunto de variables sometidas a influencias o efectos aleatorios constituye un proceso estocástico. Un proceso estocástico X_t puede entenderse como una familia uniparamétrica de variables aleatorias indexadas mediante el tiempo t . Los procesos estocásticos permiten tratar procesos dinámicos en los que hay cierta aleatoriedad.

3 Propuesta

3.1 Rutas propuestas

Antes de entrar en el diseño de la propia ruta, se debe realizar un estudio estocástico de las llegadas al aeropuerto mediante teoría de colas. Este estudio nos permitirá conocer el tiempo medio que pasa una aeronave esperando el permiso para aterrizar, así como el tiempo máximo y la cantidad de aviones en la cola en cada momento.

Usando los datos obtenidos del programa NEST en los ciclos 1506 y 1507 de AIRAC, se escribe un pequeño programa en Matlab que procesa todos los datos de llegadas mediante teoría de colas y los ordena en información clara sobre el tiempo y la cantidad de aviones que esperan, de media.

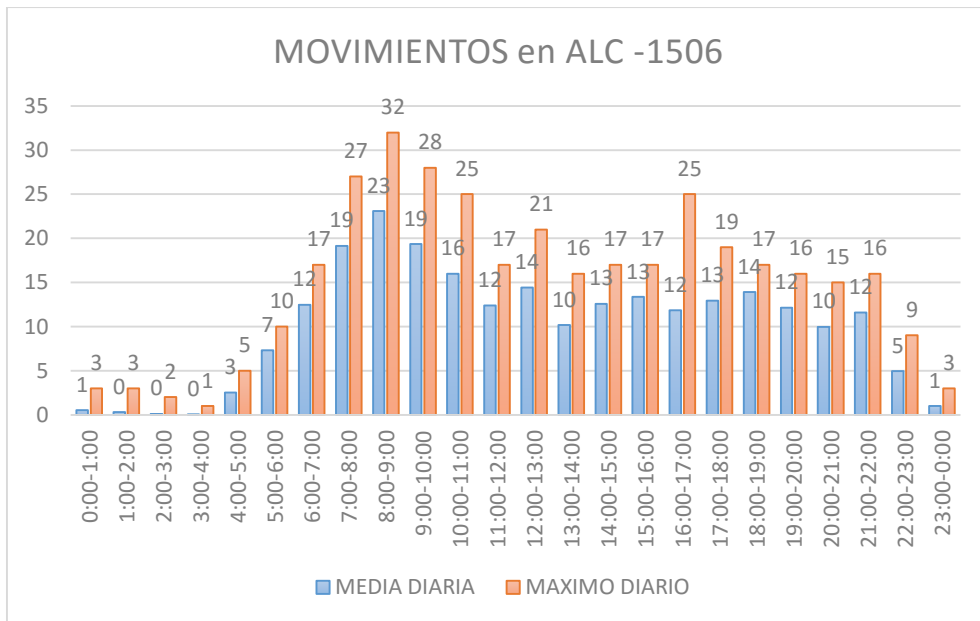


Ilustración 18: Representación visual de los datos

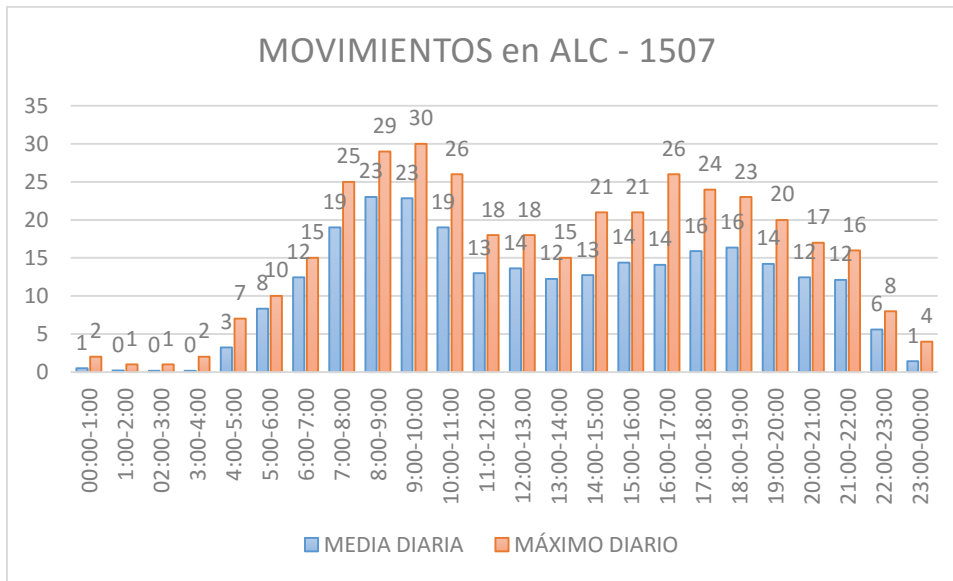


Ilustración 19: Representación visual de los datos

Como vemos en las imágenes, se puede comprobar que en ambos ciclos los valores por horas van cambiando, pero los máximos son comunes: de 8 a 9 de la mañana, llegan la mayor cantidad de aviones al aeropuerto, creando más esperas ya que los controladores no pueden dar servicio a todos los aviones que pasan por su sector de monitorización. Debemos recordar que un controlador no solo da servicio a los aviones que se encuentren en el procedimiento que se cree, sino que también gestiona aquellos que no puedan acogerse al procedimiento y los que, dentro de su radio de actuación, aún no han llegado a incorporarse a ningún procedimiento.

Con estos datos, se decide crear un arco cuya longitud total corresponda con 8 minutos de vuelo a una IAS de 220 nudos. Desde este arco, el punto común del Point Merge se encuentra a una distancia de 14 km, lo que corresponde a 2 minutos de espera. En total, sumando la máxima distancia que puede recorrerse en el arco a la que une el arco con el punto Point Merge, tenemos los 10 minutos de espera previstos como máximo. El razonamiento detrás de estos números se encuentra en el capítulo 4.2 de esta memoria.

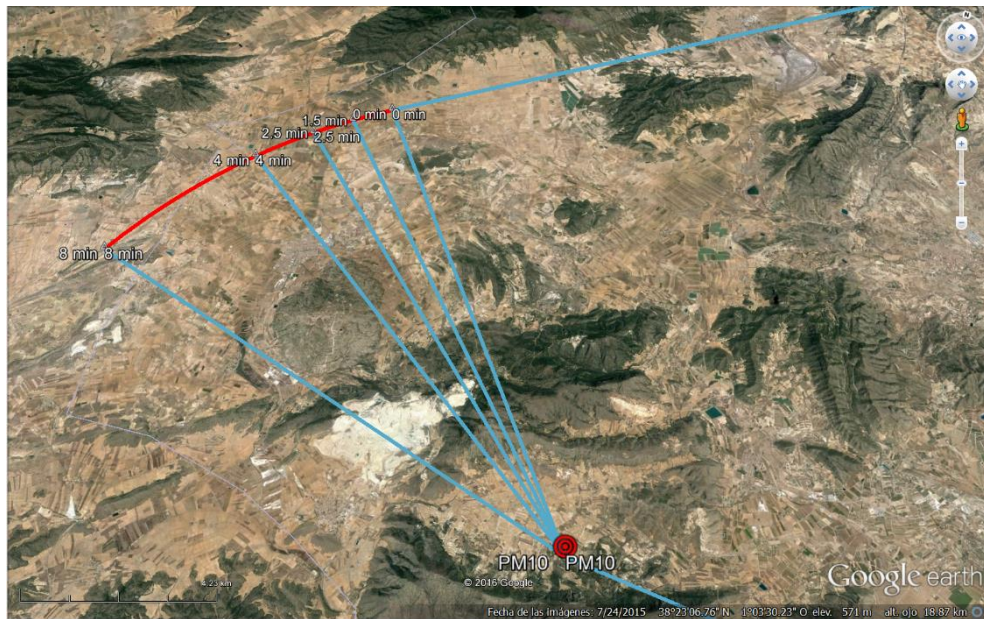


Ilustración 20: En rojo, arco del procedimiento en pista 10

Previendo otras esperas más reducidas, se colocan puntos RNAV intermedios en el arco, situados a 1,5 minutos, a 2,5 minutos y a 4 minutos que permiten a los controladores dar indicaciones más precisas a los pilotos. Por supuesto, también tienen la capacidad de indicarles que reduzcan la velocidad o darles las indicaciones manualmente sin necesidad de llegar al punto RNAV específico, aunque se espera que se atengan a los waypoints previstos.

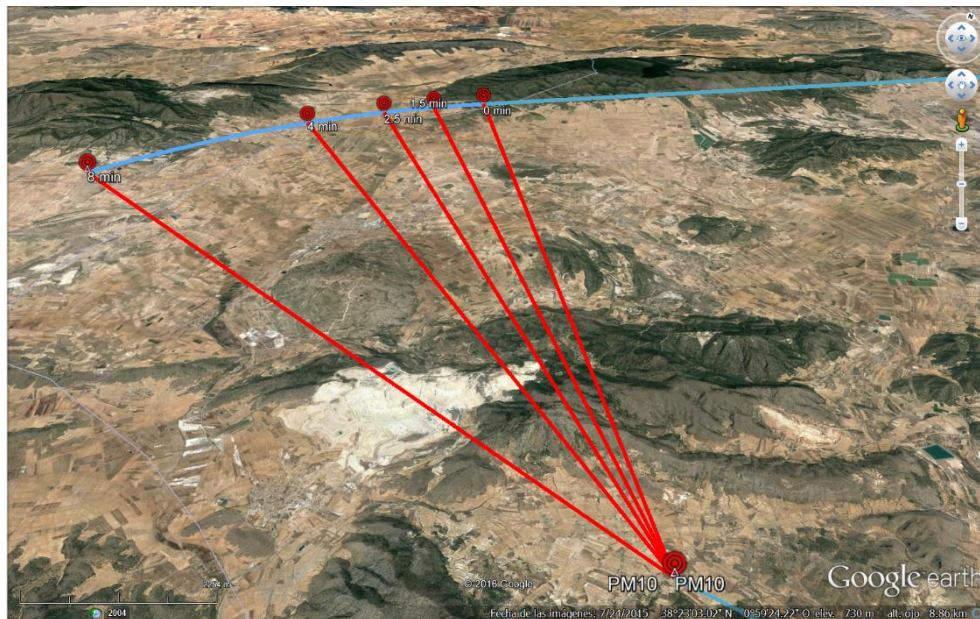


Ilustración 21: En rojo, las rutas entre el arco y el punto

Una vez hemos definido cómo será nuestro procedimiento, debemos elegir una ubicación para el mismo. Se toma la decisión de implementar los procedimientos como extensiones de las aproximaciones finales a cada pista. La idea es unificar ambos procedimientos, la aproximación al aeródromo y el tramo de aproximación final, para facilitar el sistema y reducir la complejidad de las interacciones entre piloto y control de tráfico aéreo.

En el caso de la pista 28, aunque no esté preparada para aterrizajes de precisión con ILS, sí lo está para aproximación por instrumento VOR y DME, colocaremos el procedimiento de tal manera que tome como referencia el IAF (*Initial Approach Fix*, Fijo de aproximación inicial) en BESOR como punto por el que se accede al procedimiento. Desde BESOR se vuela hasta el primer punto del procedimiento, que al terminar, desemboca en el punto IF (*Intermediate Fix*, Fijo intermedio) de la aproximación VOR. Al crear un procedimiento Point Merge nuestra intención es reducir los tiempos de vuelo y espera que suponen las aproximaciones convenciones, así que buscamos las rutas más directas a

nuestro destino. Con esa idea en mente, asumimos que combinar el final de los procedimientos de aproximación con el inicio del tramo de aproximación final cumple con el objetivo de agilizar la navegación aérea, ahorrando costes en tiempo de vuelo.



Ilustración 22: Aproximación VOR y Point Merge

De manera similar a lo descrito para la aproximación en configuración este, cuando la pista en servicio es la cabecera 10, el piloto tiene a su disposición un ILS de CAT I para realizar un aterrizaje por instrumentos. El sistema que ya existe propone un arco DME desde el IAF, que en este caso es VILNA, hasta el IF del sistema ILS, donde inicia el descenso. El procedimiento Point Merge propuesto termina, como en la cabecera 28, en el IF de la aproximación final, y como ya hicimos, también *nace* del IAF en VILNA.

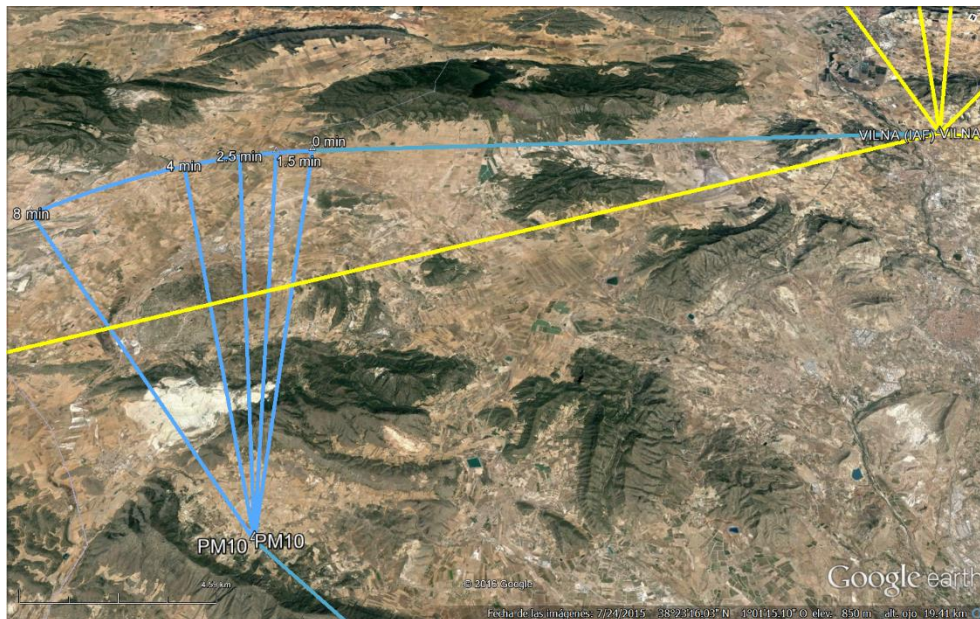


Ilustración 23: Unión entre los procedimientos existentes y el nuevo

En el caso del ILS, la combinación de aproximación y aproximación final es muchísimo más sencilla que con VOR, ya que el piloto cuando sale del procedimiento solo tiene que activar el aterrizaje por instrumentos sin necesidad de un permiso especial por parte del control de Alicante.

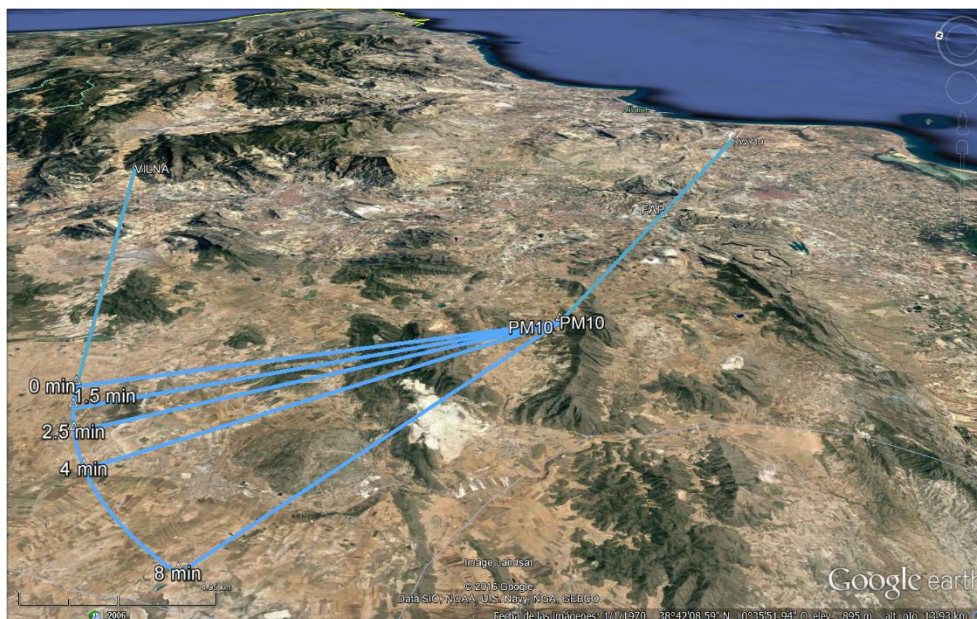


Ilustración 24: Unión entre los procedimientos existentes y el nuevo

3.2 Franqueamiento de obstáculos

Todos los procedimientos, aunque sean de precisión y basados en prestaciones como los procedimientos Point Merge, deben contener por seguridad un apartado de franqueamiento de obstáculos que limite los posibles problemas derivados de una meteorología desfavorable o una pérdida brusca de altura del aparato.

Las herramientas para el desarrollo de estas superficies de franqueamiento de obstáculos se han adaptado del Documento 8168 de OACI: *Operación de aeronaves*, volumen II: *Construcción de procedimientos de vuelo visual y por instrumentos*. Al no estar todavía publicado el procedimiento específico para circuitos de espera Point Merge, se ha utilizado una variante del franqueamiento de obstáculos en esperas RNAV con punto de recorrido y funcionalidad de espera.

Para establecer el franqueamiento de obstáculos, primero debemos definir cuál será el área de espera a través de una plantilla proporcionada por el documento 8168 y las características específicas de la espera propuesta.

Puesto que los procedimientos son novedosos, se han adaptado varios criterios de franqueamiento de obstáculos distintos, como efecto del viento, virajes y la coincidencia con el franqueamiento del ILS instalado en la cabecera 10. La descripción de las plantillas, las simplificaciones y asunciones tomadas se desarrollan de manera más profunda en el apartado correspondiente de la sección cálculos de esta memoria. Se incluyen las imágenes del resultado obtenido para ambas aproximaciones.

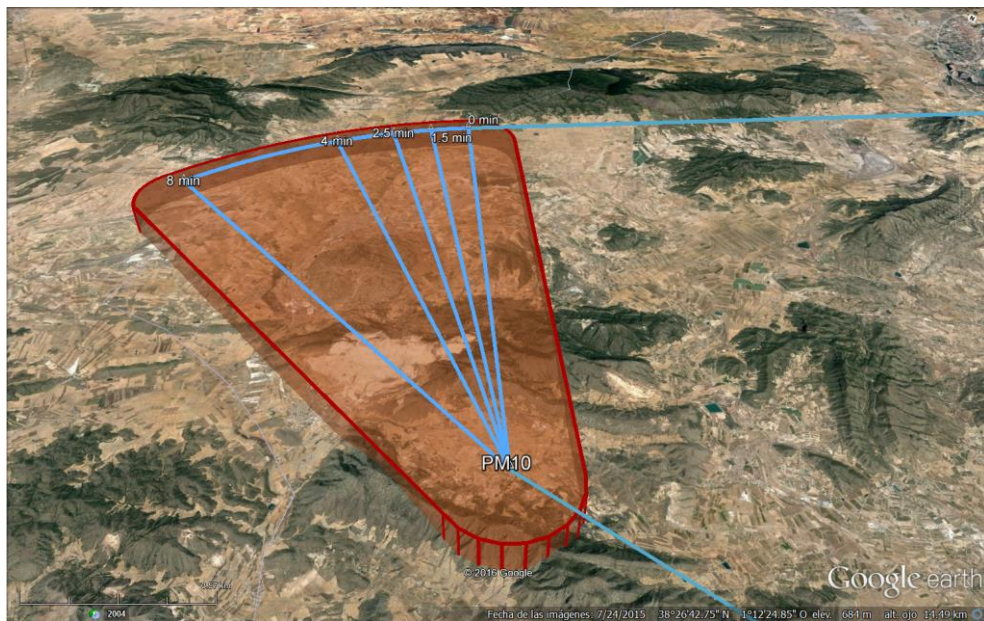


Ilustración 25: Franqueamiento en cabecera 10

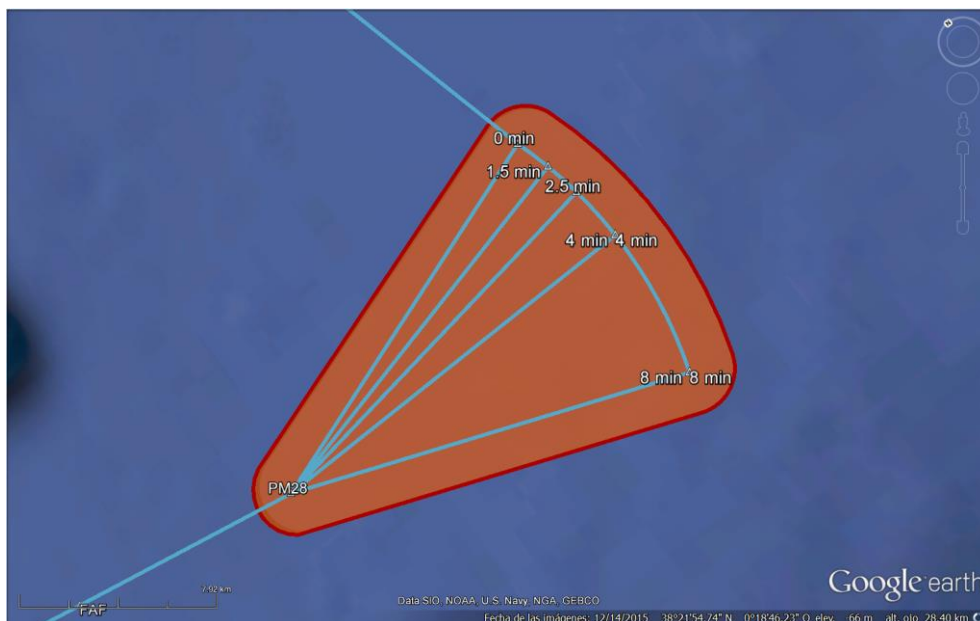


Ilustración 26: Franqueamiento de obstáculos en cabecera 10

3.2.1 Franqueamiento de obstáculos en ILS

En el documento PANS-OPS Volumen II del año 1993 se puede encontrar información sobre las superficies de las OAS.

Según el documento, las OAS están formadas por 6 superficies planas que se denominan por las letras W, X, Y y Z. Estas superficies se encuentran en pendiente y son simétricas con respecto a la derrota del tramo de precisión y por el plano horizontal que contiene el umbral. Por tanto, existen dos superficies X e Y a cada lado, mientras que las superficies W y Z son centrales.

Se puede considerar que estos planos siguen las ecuaciones matemáticas de los planos.

$$z = Ax + By + C$$

Por tanto, existen tres parámetros constantes (A, B, C), dos variables independientes que son las coordenadas de la posición longitud y latitud (x, y), y una variable dependiente que indica la altura de la superficie (z).

Se verá más adelante que para cada superficie se especifican distintas constantes A, B y C que dependen de la distancia entre el localizador y el umbral y el ángulo de la trayectoria de planeo.

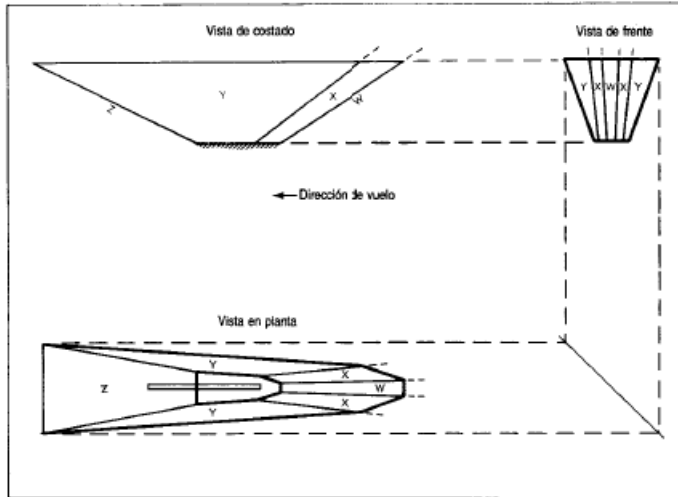


Ilustración 27: Ilustraciones de las superficies ILS de evaluación de obstáculos

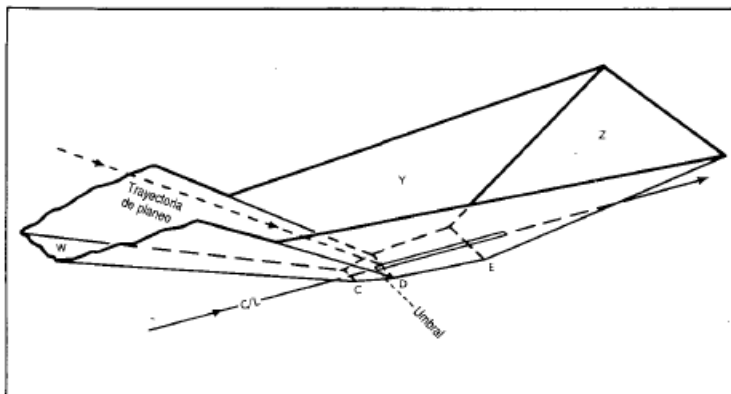


Ilustración 28: Ilustración de las superficies de evaluación de obstáculos ILS

En el Adjunto I de la Parte III también se incluyen los valores de las coordenadas de los puntos de estas superficies (W, X, Y, Z) que intersectan con el nivel del umbral y a 300 m por encima de éste en el caso de la Categoría I. Estas coordenadas de intersección se denominan en la tabla C, D y E para aquellos puntos que están en el umbral; y C", D" y E" para aquellos puntos que están a 300 m.

Para evitar confusiones a la hora de definir estas coordenadas, se ha realizado un convenio y se ha definido un sistema de coordenadas común con origen en el umbral.

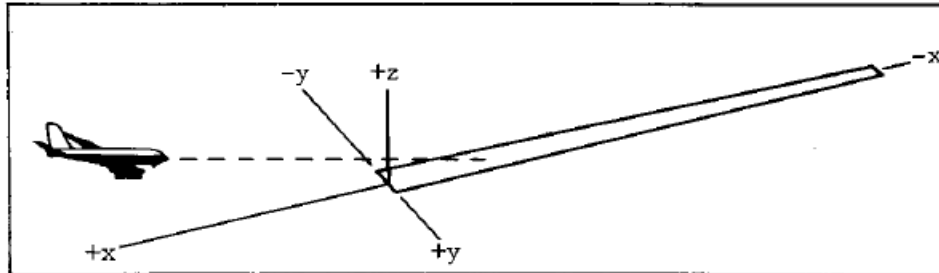


Ilustración 29: Sistema de Coordenadas del umbral.

Se puede observar en la figura anterior que el eje X se define paralelo a la derrota del tramo de precisión, donde los valores positivos se consideran que están antes del umbral y los valores negativos después del umbral.

El eje Y es perpendicular al eje X, donde los valores positivos se encuentran a la derecha teniendo los valores positivos del eje X delante y los valores negativos están a la izquierda de estos.

El eje Z es el eje vertical, donde se considera que los valores que están por encima del umbral son positivos.

4 Cálculos

4.1 Cálculos en teoría de colas

Las características de las esperas al llegar al aeropuerto de Alicante son muy concretas: hay una única pista que debe dar servicio a todas las llegadas, los aviones en espera no pueden marcharse del circuito (en condiciones normales de operación), las llegadas están espaciadas a lo largo de cada hora del día y los aterrizajes se sirven de uno en uno.

El tipo de distribución de llegadas que más se ajusta a la operación habitual de un aeropuerto comercial es una distribución exponencial de Poisson, puesto que las llegadas, aunque tienen un horario establecido, no siempre lo cumplen, y puede haber retrasos, adelantos, cancelaciones de vuelos que se afecten mutuamente y no cuadren con las horas previstas de llegada. Con todo, podemos asumir que la distribución normal de Poisson es la más adecuada para modelar un aeropuerto con una sola pista.

Todas estas condiciones coinciden con lo que se conoce como una distribución exponencial con un servidor y sin abandono de cola, abreviado como M/M/1 en teoría de colas. [8]

Así pues, las ecuaciones y fórmulas usadas para modelar son, reducidas a su mínima expresión:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$
$$L = \frac{\rho}{1 - \rho} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$$

$$W = \frac{L}{\lambda} = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

$$L_q = \rho \cdot L = \frac{\lambda^2}{\mu \cdot (\mu - \lambda)}$$

$$W_q = \rho \cdot W = \frac{\lambda}{\mu \cdot (\mu - \lambda)}$$

Donde:

ρ es la congestión del sistema, es decir, el número de aviones que se está atendiendo en cada momento.

λ es el número de llegadas por unidad de tiempo.

μ es el número de aviones servidos por unidad de tiempo, en este caso, horas.

L es el número medio de aviones que hay en el sistema.

W es el tiempo medio que pasan los aviones en el sistema.

L_q es el número medio de aviones que hay en la cola.

W_q es el tiempo medio que pasan los aviones en la cola.

Todos estos valores son variables a lo largo del día, y debemos hacer un estudio pormenorizado para determinar el funcionamiento real del aeropuerto. Es importante recalcar que con un tráfico tan elevado, el estudio de teoría de colas aumenta muchísimo la predictibilidad de las rutas que van a tomar las aeronaves en aproximación, mejorando sensiblemente la capacidad de trabajo de los controladores.

Mediante la herramienta NEST hemos establecido las llegadas al aeropuerto en cada hora de dos ciclos AIRAC diferentes, es decir, unos dos

meses. Obtenemos de NEST una hoja de cálculo con el número de vuelos pormenorizados a cada hora.

Scenario ID	Scenario Name	Scenario Type	Scenario Description	Scenario Parameters	Scenario Results	Scenario Metrics	Scenario Statistics	Scenario Performance	Scenario Efficiency	Scenario Reliability	Scenario Scalability	Scenario Flexibility	Scenario Adaptability	Scenario Resilience	Scenario Sustainability	Scenario Innovation	Scenario Leadership	Scenario Impact	Scenario Legacy
000000	Scenario 0 (LAL Airport)	Arrival	Arrival	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
000001	Scenario 1 (LAL Airport)	Arrival	Arrival	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
000002	Scenario 2 (LAL Airport)	Arrival	Arrival	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
000003	Scenario 3 (LAL Airport)	Arrival	Arrival	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
000004	Scenario 4 (LAL Airport)	Arrival	Arrival	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
000005	Scenario 5 (LAL Airport)	Arrival	Arrival	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
000006	Scenario 6 (LAL Airport)	Arrival	Arrival	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
000007	Scenario 7 (LAL Airport)	Arrival	Arrival	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
000008	Scenario 8 (LAL Airport)	Arrival	Arrival	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
000009	Scenario 9 (LAL Airport)	Arrival	Arrival	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
000010	Scenario 10 (LAL Airport)	Arrival	Arrival	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
000011	Scenario 11 (LAL Airport)	Arrival	Arrival	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
000012	Scenario 12 (LAL Airport)	Arrival	Arrival	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
000013	Scenario 13 (LAL Airport)	Arrival	Arrival	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
000014	Scenario 14 (LAL Airport)	Arrival	Arrival	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
000015	Scenario 15 (LAL Airport)	Arrival	Arrival	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
000016	Scenario 16 (LAL Airport)	Arrival	Arrival	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
000017	Scenario 17 (LAL Airport)	Arrival	Arrival	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
000018	Scenario 18 (LAL Airport)	Arrival	Arrival	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
000019	Scenario 19 (LAL Airport)	Arrival	Arrival	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
000020	Scenario 20 (LAL Airport)	Arrival	Arrival	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
000021	Scenario 21 (LAL Airport)	Arrival	Arrival	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
000022	Scenario 22 (LAL Airport)	Arrival	Arrival	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
000023	Scenario 23 (LAL Airport)	Arrival	Arrival	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
000024	Scenario 24 (LAL Airport)	Arrival	Arrival	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ilustración 30: Extracto del resultado en formato Excel

Debido al tamaño de esta muestra, utilizamos la herramienta Matlab para escribir un programa que tome los datos que hemos obtenido y los trate para darnos la información más importante.

```

7
8 %% Calculos
9 MediaOps=zeros(1,24);
10 MaxOps=zeros(1,24);
11 for i=1:24
12     MediaOps(i)=ceil(mean(op(:,i)));
13     MaxOps(i)=max(op(:,i));
14 end
15 for i=1:24
16     mu=30;
17     lambda=MediaOps(i);
18     Res(i).Hora=i-1; %hora inicio del intervalo de llegadas
19     Res(i).Rho=lambda/mu; %
20     Res(i).L=lambda/(mu-lambda); %Aviones esperando
21     Res(i).W=1/(mu-lambda)*60; %Minutos de espera
22     Res(i).Lq=Res(i).Rho*Res(i).L; %Aviones esperando en la cola
23     Res(i).Wq=Res(i).Rho*Res(i).W; %Minutos de espera en la cola
24
25     L(i)=Res(i).L;
26     Lq(i)=Res(i).Lq;
27     W(i)=Res(i).W;
28     Wq(i)=Res(i).Wq;
29     Hora(i)=Res(i).Hora;
30 end
31 if op==LEAL1506

```

Ilustración 31: Parte del programa TeoriaCOLAS

De esta manera, obtenemos los siguientes resultados de nuestro estudio estocástico:

Fields	Hora	Rho	L	W	Lq	Wq
1	0	0.0333	0.0345	2.0690	0.0011	0.0690
2	1	0.0333	0.0345	2.0690	0.0011	0.0690
3	2	0.0333	0.0345	2.0690	0.0011	0.0690
4	3	0.0333	0.0345	2.0690	0.0011	0.0690
5	4	0.1000	0.1111	2.2222	0.0111	0.2222
6	5	0.2667	0.3636	2.7273	0.0970	0.7273
7	6	0.4333	0.7647	3.5294	0.3314	1.5294
8	7	0.6667	2	6	1.3333	4
9	8	0.8000	4	10	3.2000	8
10	9	0.6667	2	6	1.3333	4
11	10	0.5333	1.1429	4.2857	0.6095	2.2857
12	11	0.4333	0.7647	3.5294	0.3314	1.5294
13	12	0.5000	1	4	0.5000	2
14	13	0.3667	0.5789	3.1579	0.2123	1.1579
15	14	0.4333	0.7647	3.5294	0.3314	1.5294
16	15	0.4667	0.8750	3.7500	0.4083	1.7500
17	16	0.4000	0.6667	3.3333	0.2667	1.3333
18	17	0.4333	0.7647	3.5294	0.3314	1.5294
19	18	0.4667	0.8750	3.7500	0.4083	1.7500
20	19	0.4333	0.7647	3.5294	0.3314	1.5294
21	20	0.3333	0.5000	3	0.1667	1
22	21	0.4000	0.6667	3.3333	0.2667	1.3333
23	22	0.1667	0.2000	2.4000	0.0333	0.4000
24	23	0.0333	0.0345	2.0690	0.0011	0.0690

Ilustración 32: Ejemplo de los resultados sin filtrar

```
Command Window
Set de datos:
Ciclo AIRAC 1506 - 28/05/15 a 24/07/15

Media de aviones esperando y tiempo medio de espera:
1 aviones durante 3.58 minutos

Período con la máxima espera:
8:00 a 9:00
Máximo de aviones esperando y tiempo medio de espera en el período:
4 aviones durante 10 minutos
fx >> |
```

```
Command Window
Set de datos:
Ciclo AIRAC 1507 - 25/06/15 a 22/07/15

Media de aviones esperando y tiempo medio de espera:
1 aviones durante 3.91 minutos

Período con la máxima espera:
8:00 a 9:00
Máximo de aviones esperando y tiempo medio de espera en el período:
4 aviones durante 10 minutos
fx >>
```

Ilustración 33: Resultados resumidos del estudio

Obtenemos una serie de datos clave para diseñar correctamente la espera del procedimiento Point Merge, que nos ayudarán a definir su longitud y configuración óptima.

4.2 Rutas propuestas

Los cálculos relacionados con las rutas tienen que ver con su tamaño. Debíamos conocer cuáles son las esperas que debemos implementar para dimensionar nuestro procedimiento de manera acorde. Conocemos la espera máxima y la media de cada ciclo, así como la espera mínima por la que pasan todos los aviones. Estos son 10 minutos, aproximadamente 4 minutos y 2 minutos, respectivamente.

Haciendo los cálculos asumiendo una velocidad de 220 nudos, se decide crear un arco con un radio de 14 km desde punto común del procedimiento, cumpliendo así la espera de 2 minutos.

$$220 \text{ kt} = 220 \frac{NM}{h} = 220 \frac{NM}{h} \cdot 1,852 \frac{km}{NM} \cdot \frac{1 h}{60 \text{ mi}} = 6,79 \frac{km}{mi}$$

$$R = 2 \text{ minutos} \cdot 6,79 \frac{km}{mi} = 13,58 \text{ km} \cong 14 \text{ km}$$

Sabiendo ya el radio del arco, debemos dimensionar su longitud. Idealmente, y para cumplir con una espera máxima de 10 minutos, decidimos dimensionar el arco para que su longitud sea de 8 minutos a 220 nudos, sumando un recorrido total de 10 minutos si se recorre entero. Usamos la fórmula de la longitud de un arco de circunferencia para hallar su ángulo.

$$l = 8 \text{ mi} \cdot \frac{6,79 \text{ km}}{\text{mi}} = 54,32 \text{ km}$$

$$\theta \cdot R = l \rightarrow \theta = \frac{l}{R} = \frac{54,32}{14} = 3,88 \text{ rad}$$

Ya tenemos todos los datos para construir el procedimiento.

Las distintas subdivisiones que presenta el arco propuesto no son elegidas arbitrariamente, sino que corresponden a las esperas más usuales que nos indica el estudio estocástico. Nos remitimos a la Ilustración 32, y a la siguiente, donde los parámetros calculados W y W_q nos indican el tiempo de espera en

minutos que está el avión en el procedimiento y en la cola (el arco), respectivamente.

Fields	Hora	Rho	L	W	Lq	Wq
1	0	0.0333	0.0345	2.0690	0.0011	0.0690
2	1	0.0333	0.0345	2.0690	0.0011	0.0690
3	2	0.0333	0.0345	2.0690	0.0011	0.0690
4	3	0.0333	0.0345	2.0690	0.0011	0.0690
5	4	0.1333	0.1538	2.3077	0.0205	0.3077
6	5	0.3000	0.4286	2.8571	0.1286	0.8571
7	6	0.4333	0.7647	3.5294	0.3314	1.5294
8	7	0.6667	2	6	1.3333	4
9	8	0.8000	4	10	3.2000	8
10	9	0.7667	3.2857	8.5714	2.5190	6.5714
11	10	0.6333	1.7273	5.4545	1.0939	3.4545
12	11	0.4333	0.7647	3.5294	0.3314	1.5294
13	12	0.4667	0.8750	3.7500	0.4083	1.7500
14	13	0.4333	0.7647	3.5294	0.3314	1.5294
15	14	0.4333	0.7647	3.5294	0.3314	1.5294
16	15	0.5000	1	4	0.5000	2
17	16	0.5000	1	4	0.5000	2
18	17	0.5333	1.1429	4.2857	0.6095	2.2857
19	18	0.5667	1.3077	4.6154	0.7410	2.6154
20	19	0.5000	1	4	0.5000	2
21	20	0.4333	0.7647	3.5294	0.3314	1.5294
22	21	0.4333	0.7647	3.5294	0.3314	1.5294
23	22	0.2000	0.2500	2.5000	0.0500	0.5000

Ilustración 34: Resultados del ciclo 1507

Aproximando cada resultado a intervalos de 30 segundos, encontramos que los valores más frecuentes son 0 minutos, 1,5 minutos, 2,5 minutos y 4 minutos para los valores de espera en cola. Decidimos que estos valores

marcarán los puntos intermedios entre el inicio y el fin de la espera, y les asignamos un waypoint y un nombre para que el control de área pueda identificarlos y usarlos para dar indicaciones ATC a los pilotos.

Por supuesto, al ser un procedimiento Point Merge, el controlador tiene la autoridad de pedirle al piloto que pase al punto común desde cualquier punto del arco, independientemente de si existe o no un waypoint. También tiene la capacidad de reducir la velocidad de la aeronave, consiguiendo un minuto adicional de espera recorriendo el arco entero, reduciendo de 220 a 210 nudos la velocidad.

4.3 Franqueamiento de obstáculos

Una vez hemos propuesto una ruta y establecido su posición, procedemos a posicionar la plantilla generada según los parámetros del documento 8168 de OACI respecto a esperas RNAV, añadiéndole las variaciones necesarias para adaptarlo a una espera en arco como la que hemos propuesto.

Ante la dificultad que presenta adaptar toda una plantilla pensada para un hipódromo centrado en un punto de ruta, se opta por prescindir de las construcciones de auxiliares y representar únicamente una protección de viraje alrededor del conjunto de waypoints que componen, sumada a un margen general por todo el procedimiento.

Según el apéndice de la parte III, sección 3, capítulo 7 del documento citado, para obtener la protección por viraje, debemos hallar la plantilla basada en los procedimientos descritos en la parte I, sección 4, capítulo 3.

- j) ubíquese el punto E en la plantilla (véase la Parte I, Sección 4, Capítulo 3, Apéndice C, 3.3.2.2.4.7) y utilícese las siguientes fórmulas para XE e YE (que son distintas a las de la Parte I, Sección 4, Capítulo 3, Apéndice C, 3.3.2.2.4.7):

$$XE = 2r + D + 11v + \left(11 + \frac{90}{R} + 11 + \frac{105}{R}\right)W'$$

$$YE = 11v \cdot \cos 20^\circ + r \cdot \sin 20^\circ + r + \left(11 + \frac{20}{R} + \frac{90}{R} + 11 + \frac{15}{R}\right)W'$$

[Véanse las Figuras III-3-7-Ap A-2 a) y III-3-7-Ap 2-b)].

Ilustración 35: Explicación del punto E

Apéndice C del Capítulo 3

CONSTRUCCIÓN DE ÁREAS DE FRANQUEAMIENTO DE OBSTÁCULOS PARA PROCEDIMIENTOS DE INVERSIÓN Y DE ESPERA

3.1.2.3.2 *Influencia del viento*

- El efecto del viento se calcula para cada punto del viraje multiplicando E, el efecto del viento durante un grado, por el número de grados del viraje;
- trácese arcos con centros en d, e, f, i y j, con radios W_d , W_e , W_f , W_i y W_j (Tabla I-4-3-Ap C-1, líneas 16 a 19). El arco con centro en f se denomina arco f;
- trácese una línea tangente al arco con centro en e (o en f si se quiere ser más conservador) con un ángulo d (Tabla I-4-3-Ap C-1, línea 20) respecto a la perpendicular a la derrota de acercamiento y sitúese el punto k en su intersección con la derrota de acercamiento. Con centro en C5 a una distancia r desde k en la derrota de acercamiento nominal, y con radio r, trácese un arco empezando en k. Sitúense los puntos g y h después de 50° y 100° de viraje desde k; y
- trácese arcos con centro en g y h, y radios W_g y W_h (Tabla I-4-3-Ap C-1, líneas 16 y 17).

Ilustración 36: Referencia para la construcción de la plantilla

En nuestro caso, como la posición del punto E de la primera imagen no coincide con ningún arco reconocible, optamos por desarrollar una superficie que coincida en forma con el procedimiento creado, y cuya longitud concuerde con la protección contra el viento que se refleja en el apéndice C del capítulo de la primera parte.

Tomamos entonces como referencia el efecto E del viento descrito en la Ilustración 36, que tomaremos como referencia para colocar una circunferencia de ese radio desde cada punto de signifique un viraje, es decir, el primer waypoint del procedimiento, todos los waypoints intermedios y el punto común al final del mismo. Una vez tengamos todas las circunferencias, las uniremos con líneas tangentes entre ellas, formando una forma geométrica similar a un triángulo con los bordes suavizados. También podemos añadir un margen de seguridad secundario de una milla náutica alrededor de esta superficie, siguiendo el ejemplo que propone el documento.

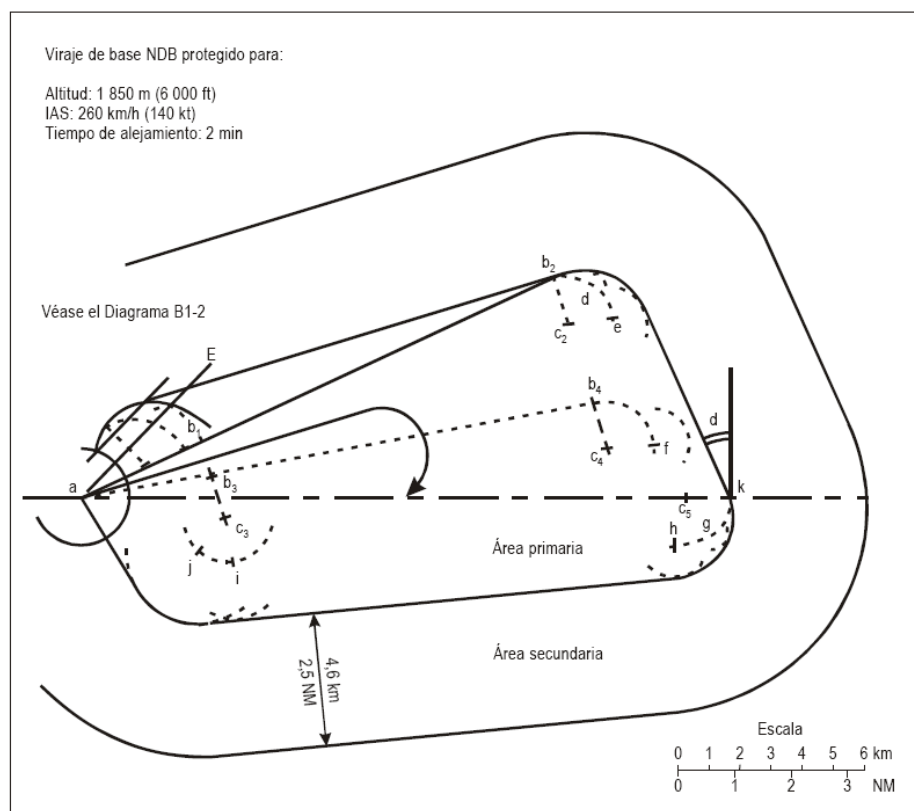


Ilustración 37: Viraje de base convencional

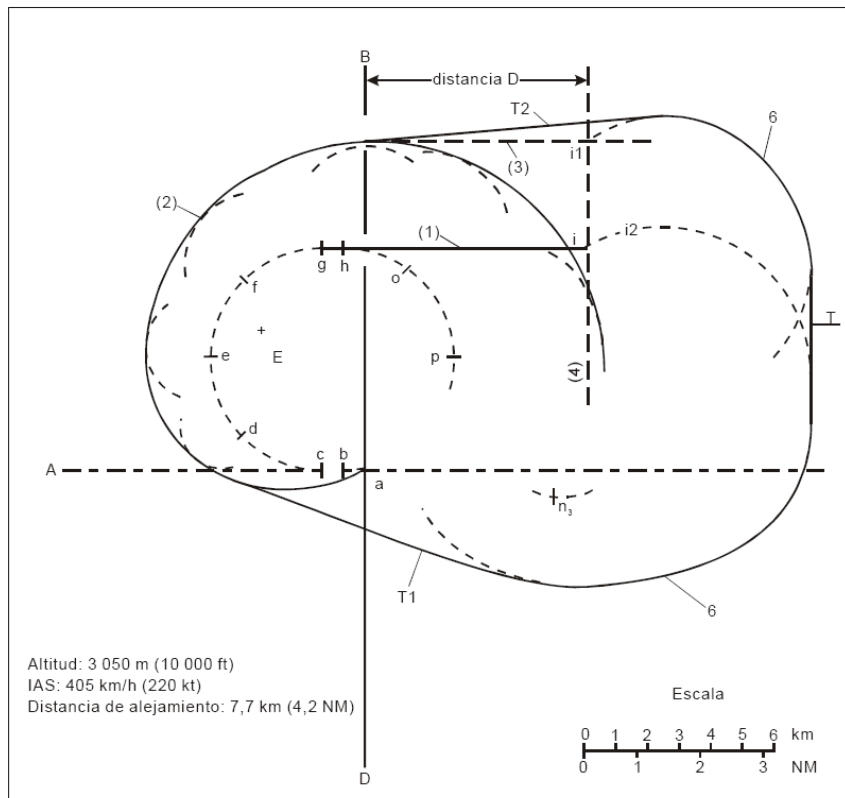


Figura III-3-7-Ap A-1. Plantilla RNAV para sistemas RNAV con funcionalidad de espera

Ilustración 38: Plantilla RNAV

El documento propone un área secundaria con una separación de dos millas y media de la creada originalmente, pero en nuestro caso se trata de un procedimiento de precisión, y dos millas y media es un margen pensado para procedimientos instrumentales convencionales.

A continuación, presentamos las superficies limitadoras de obstáculos calculadas según estos criterios:

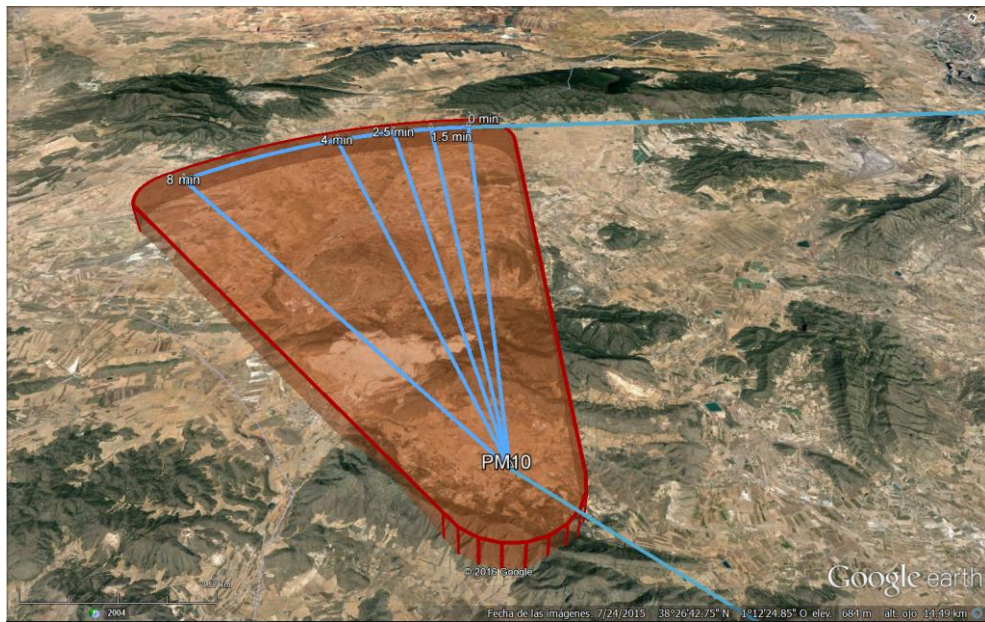


Ilustración 39: En naranja, la superficie limitadora de obstáculos

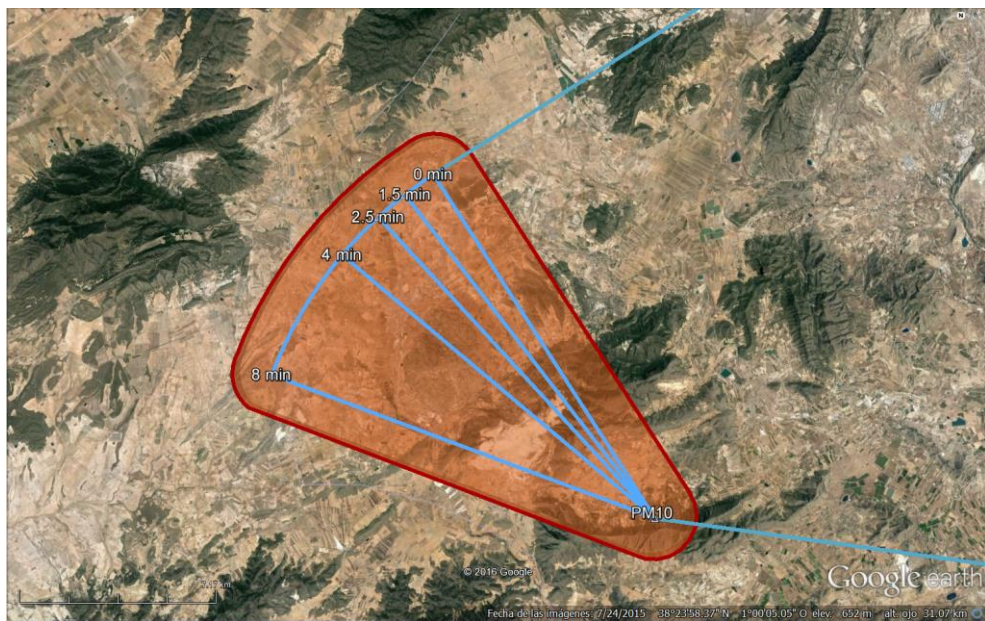


Ilustración 40: Vista superior de la superficie

Como altura limitadora, utilizamos la que marca el mismo documento, en su capítulo 2 de la primera parte, que indica que en zonas montañosas o de elevación pronunciada, se debe dar un margen de hasta 600 metros sobre el

punto más alto en la creación de circuitos de espera en aproximación, sean de la clase que sean.

Para asegurarnos de cumplir con esta protección vertical, al punto más alto de la superficie le damos una altura de 1000 metros sobre el terreno, altura que va descendiendo con una inclinación equivalente a la del procedimiento propuesto.

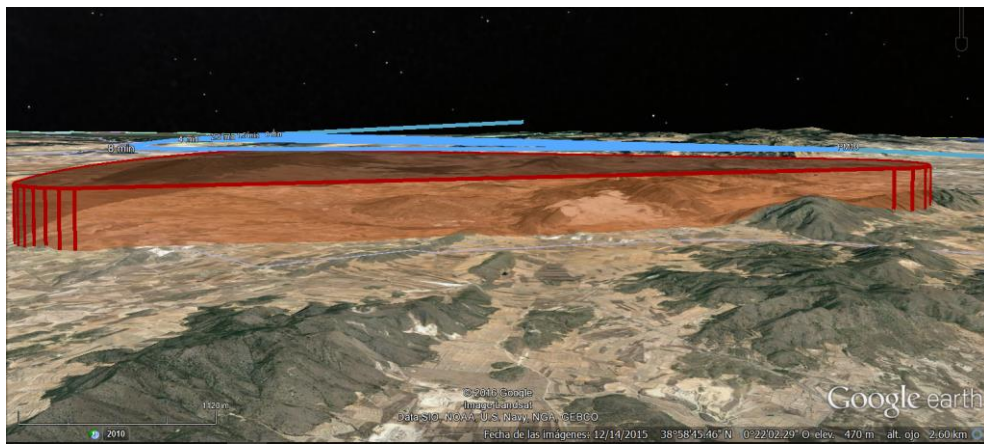


Ilustración 41: Perfil vertical

También levantamos una superficie limitadora de obstáculos para la aproximación de la pista 28, aunque al situarla sobre el mar Mediterráneo, esta precaución es innecesaria puesto que no existen obstáculos que salvar. La altura de la limitación está situada mucho más abajo, a 300 metros sobre la superficie del agua.

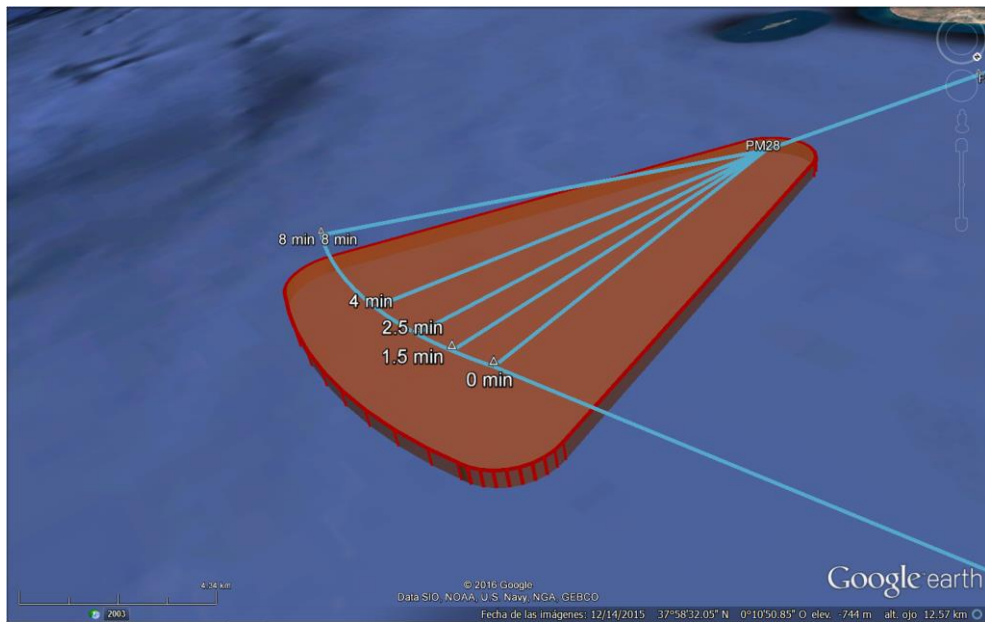


Ilustración 42: Superficie limitadora en cabecera 28

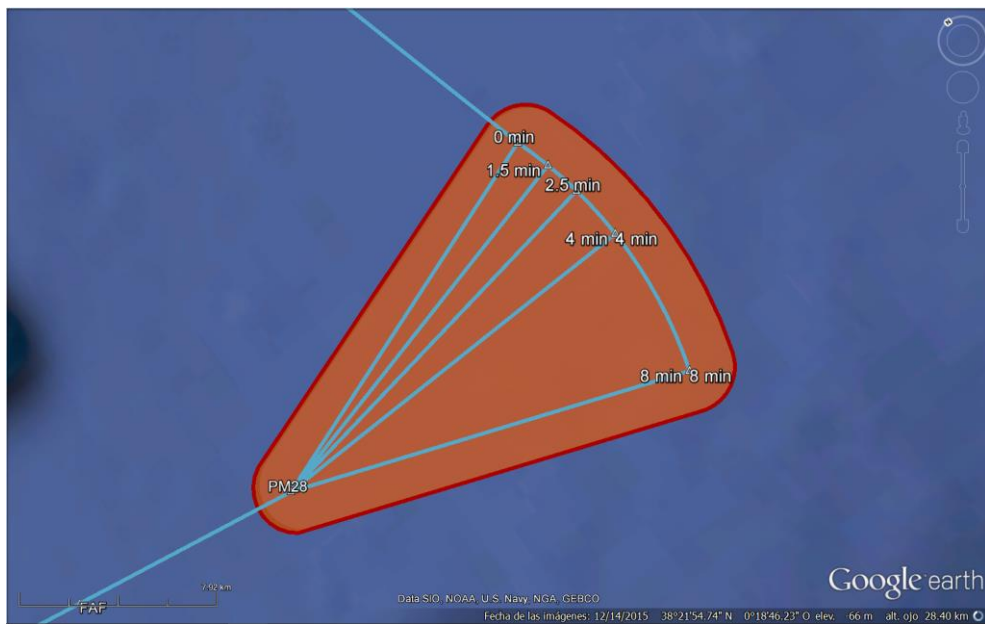


Ilustración 43: Vista vertical de la superficie

Para realizar esta superficie, se han realizado los cálculos en Matlab, tomando como referencia la tabla de valores de procedimientos de espera de aproximaciones convencionales y de precisión, también añadimos la tabla con

las referencias de ejemplo y los cálculos realizados.

Tabla I-4-3-Ap C-1. Cálculos asociados con la construcción de la plantilla para virajes de base

DATOS		
	UNIDADES DEL SI	UNIDADES AJENAS AL SI
IAS	260 km/h	140 kt
Altitud	1 850 m	6 000 ft
T	2 min	2 min
NDB	a 0 m	a 0 ft
Temperatura	ISA + 15°C	ISA + 15°C

Línea	Parámetro	CÁLCULOS CON UNIDADES DEL SI		CÁLCULOS CON UNIDADES AJENAS AL SI	
		Fórmula	Valor	Fórmula	Valor
1	K	Factor de conversión para 1 850 m con ISA + 15°C (véase la Parte I, Sección 2, Capítulo 1, Apéndice)	1,1244	Factor de conversión para 6 000 ft con ISA + 15°C (véase la Parte I, Sección 2, Capítulo 1, Apéndice)	1,1231
2	V	$V = K \times \text{IAS}$	292,34 km/h	$V = K \times \text{IAS}$	157,23 kt
3	v	$v = V + 3\,600$	0,0812 km/s	$v = V + 3\,600$	0,0437 NM/s
4	R	$R = 943,27 + V$, o 3°/s, lo que sea menor	(3,23) 3°/s	$R = 509,26 + V$, o 3°/s, lo que sea menor	(3,24) 3°/s
5	r	$r = V + 62,83 R$	1,55 km	$r = V + 62,83 R$	0,83 NM
6	h	en miles de metros	1,85	en miles de pies	6
7	w	$w = 12h + 87$	109,2 km/h	$w = 2h + 47$	59 kt
8	w'	$w' = w + 3\,600$	0,03 km/s	$w' = w + 3\,600$	0,0164 NM/s
9	E	$E = w' + R$	0,01 km/°	$E = w' + R$	0,00546 NM/°

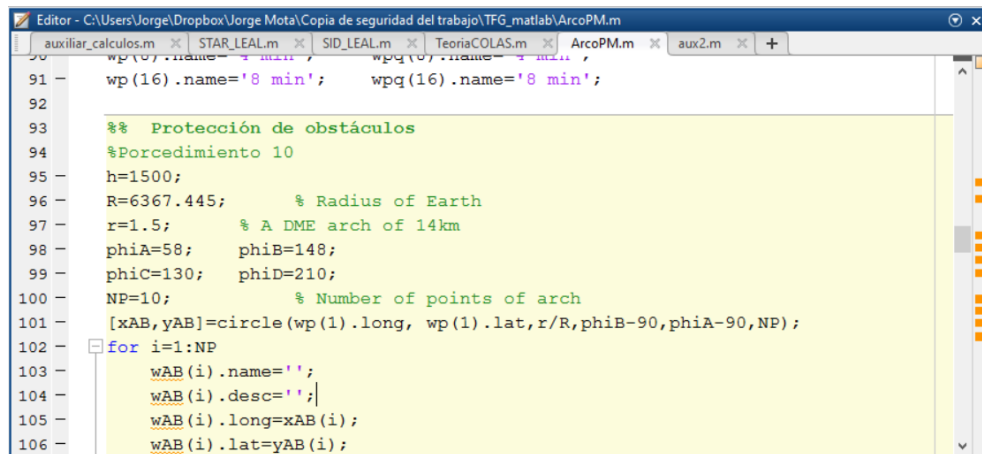
Ilustración 44: Valores usados

```

Editor - C:\Users\Jorge\Dropbox\Jorge Mota\Copia de seguridad del trabajo\TFG_matlab\aux2.m
auxiliar_calculos.m x STAR_LEAL.m x SID_LEAL.m x TeoriaCOLAS.m x ArcoPM.m x aux2.m x +
1 - V=1.1958*220;
2 - h=6;
3 - D=5400;
4 - v=V/3600;
5 - R=509.26/V;
6 - t=60;
7 - r=V/62.83/R;
8 - W=(2*h+47);
9 - w=W/3600;
10 - XE=2*r+D+11*v+(11+90/R+11+105/R)*W;
11 - YE=11*v*cosd(20)+r*sind(20)+r*(11+20/R+90/R+11+15/R)*W;
12 - E=[XE, YE];
13 - Ef=w/R;
    
```

Ilustración 45: Programa para los cálculos

Las curvas generadas se calculan y representan en Google Earth con ayuda de un programa en Matlab.



```
91 - wp(16).name='8 min';    wpg(16).name='8 min';
92
93 - %% Protección de obstáculos
94 - %Procedimiento 10
95 - h=1500;
96 - R=6367.445;    % Radius of Earth
97 - r=1.5;    % A DME arch of 14km
98 - phiA=58;    phiB=148;
99 - phiC=130;    phiD=210;
100 - NP=10;    % Number of points of arch
101 - [xAB,yAB]=circle(wp(1).long, wp(1).lat,r/R,phiB-90,phiA-90,NP);
102 - for i=1:NP
103 -     wAB(i).name='';
104 -     wAB(i).desc='';
105 -     wAB(i).long=xAB(i);
106 -     wAB(i).lat=yAB(i);
```

Ilustración 46: Fragmento del programa

En el caso del procedimiento en pista 10, también debemos tener en cuenta las protecciones derivadas del uso de un aterrizaje por ILS. Así que nos preocupamos de definir cuáles serán las alturas y superficies de franqueamiento de obstáculos para esa pista.

4.3.1 Franqueamiento de obstáculos en el ILS

Para poder realizar la representación de las OAS, se puede consultar el Adjunto I de la parte III del documento 8168 donde se puede encontrar los distintos valores de las constantes y las coordenadas que componen los distintos planos de las OAS para las categorías I y II.

Estos valores varían según el valor de la distancia localizador/umbral (2000 - 4500 m en intervalos de 200 m) y según el ángulo de trayectoria de planeo del ILS (2.5° - 3.5° en intervalos de 0.1°).

En este caso, como la distancia entre el localizador y el umbral es de 3297 metros, se considera el valor inferior de 3200 metros. Como se ha indicado

previamente, el ángulo de descenso es 3° y la categoría de aproximación es I. Así mismo, en las constantes y coordenadas que muestran varios valores, se escogen los que tienen una pendiente de ascenso en frustrada del 2.5%.

ANGULO DE TRAYECTORIA DE PLANE0 CON DATOS OAS DEL ILS 3,00 DISTANCIA 3 200 LOCALIZADOR/UMBRAL.

	CONSTANTES OAS DEL ILS			CONSTANTES OAS MODIFICADAS PARA PILOTO AUTOMATICO CAT II		
	CAT I	CAT II	CAT II	A	B	C
W	.078500	.000000	-8.01	.035800	.000000	-6.19
W*				.042000	.000000	-12.39
X	.027966	184514	-16.91	.035493	238106	-21.72
Y 5.0P	.018135	258945	-29.77	.025907	369921	-42.53
Z	-.050000	.000000	-45.00	-.050000	.000000	-45.00
Y 4.0P	.020449	241458	-26.75	.028391	335236	-37.14
Z	-.040000	.000000	-36.00	-.040000	.000000	-36.00
Y 3.0P	.022886	223047	-23.57	.030861	300768	-31.78
Z	-.030000	.000000	-27.00	-.030000	.000000	-27.00
Y 2.5P	.024257	212726	-21.78	.032184	282298	-28.91
Z	-.025000	.000000	-22.50	-.025000	.000000	-22.50
Y 2.0P	.025666	202040	-19.93	.033510	263785	-26.03
Z	-.020000	.000000	-18.00	-.020000	.000000	-18.00

COORDENADAS DE LA PLANTILLA OAS (M)					
	ELEVACION DEL UMBRAL		PILOTO AUTOMATICO		
	CAT I	CAT II	CAT I	CAT II	
C	281	49	173	66	
D	-286	135	-286	135	
E 5.0P	-900	178	-900	178	
4.0P	-900	187	-900	187	
3.0P	-900	198	-900	198	
2.5P	-900	205	-900	205	
2.0P	-900	213	-900	213	

	ALTURA 300 M		ALTURA 150 M		ALTURA 150 M**	
	CAT I	CAT II	CAT I	CAT II	CAT I	CAT II
C**	10807	78	4382	71	3866	49
D**5.0P	5438	892	2576	340	1373	424
E**	-6900	1756	-3900	793	-3900	793
D**4.0P	5438	892	2576	340	1105	464
E**	-8400	2064	-4650	952	-4650	952
D**3.0P	5438	892	2576	340	553	547
E**	-10900	2569	-5900	1209	-5900	1209
D**2.5P	5438	892	2576	340	-81	643
E**	-12900	2983	-6900	1420	-6900	1420
D**2.0P	5438	892	2576	340	-1588	866
E**	-15900	3603	-8400	1734	-8400	1734

Ilustración 47: Constantes y coordenadas OAS

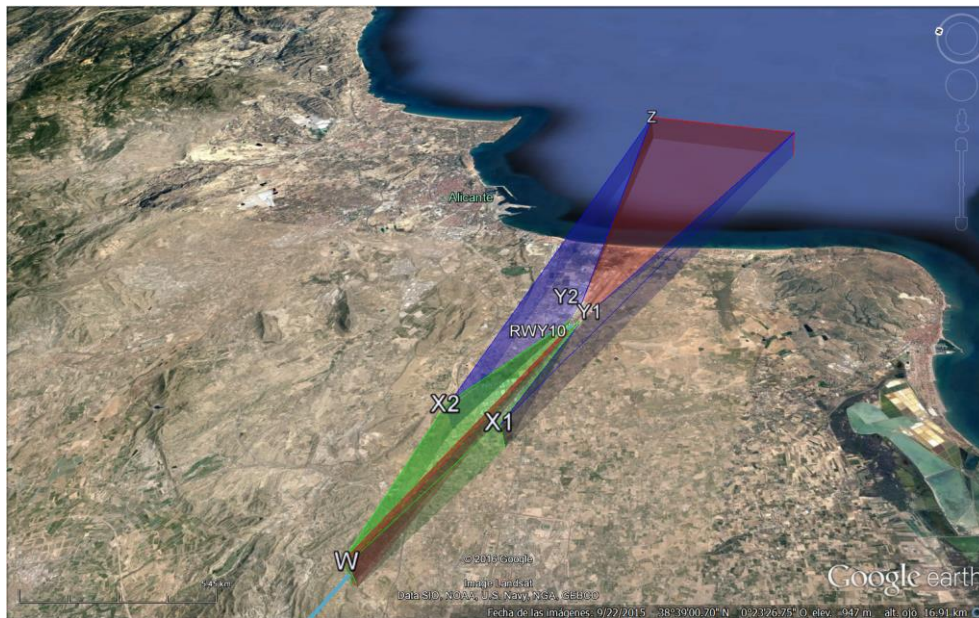


Ilustración 48: Superficies OAS

Después de convertir las coordenadas locales que aparecen en la imagen a nuestro sistema de coordenadas, obtenemos las superficies OAS y las representamos. Podemos comprobar que nuestro procedimiento no influye en ninguna de estas superficies, pero aun así debíamos asegurarnos de que la operación del ILS no se viera afectada por la creación de nuevas rutas cercanas, ya que será parte fundamental del procedimiento propuesto.

5 **Conclusiones**

La incorporación de procedimientos y rutas Point Merge es una mejora sustancial de la capacidad de trabajo de los controladores y operarios de control de tráfico aéreo, aliviando la concentración de aeronaves en el mismo sector y dándoles opciones más eficientes para el guiado de aeronaves dentro de la zona de aproximación que supone su ATM.

El proponer rutas más cortas, no por la acortar la distancia entre waypoints, si no reduciendo las esperas y con una elevación vertical con descenso continuo, antes que los descensos escalonados.

Los procedimientos point Merge también presentan ventajas para las tripulaciones, ya que siguen rutas más simples, con menos puntos conflictivos, y es necesaria una menor comunicación con el controlador a cargo, lo que mejora sustancialmente la capacidad de maniobra de los pilotos y les da una cierta libertad de acción. [9]

Las mejoras en la comunicación, es decir, necesitar menos comunicaciones entre control y tripulación influye positivamente en la seguridad de este procedimiento. Si el procedimiento está desarrollado de manera que no existen dudas ni puntos ambiguos, las posibilidades de que la tripulación malinterprete una orden dada desde el control son mínimas, ya que hemos creado un proceso altamente automatizado.

En los lugares donde se ha implementado experimentalmente esta clase de procedimientos han visto incrementada su capacidad un 30%, un aumento nada despreciable. [9]

Pero las facilidades en su uso para tripulaciones y controladores no son la única ventaja de los procedimientos Point Merge. La reducción de consumo

debido a la reducción efectiva del tiempo de vuelo, además de reducir el escalonado en el descenso, buscando un descenso en pendiente continua, puede reducirse en hasta un 20% [10], una reducción impresionante que las aerolíneas agradecen.

El descenso en el consumo de combustible no es solo un factor económico a tener en cuenta por las compañías, si no que Eurocontrol también busca como parte del plan SESAR reducir las emisiones de gases de combustión a la atmosfera, puesto que el transporte aéreo supone hasta un 2% de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. [11]

Con rutas de descenso continuo también reducimos la potencia necesaria de los motores para llevar a cabo la aproximación final, un factor importante a tener en cuenta, porque la contaminación acústica que supone la aviación afecta negativamente a habitantes de la zona que sobrevuela la ruta, sean humanos o animales. Hay estudios que demuestran que el ruido o las vibraciones en el aire que se generan por la aviación comercial influyen en distintas especies, tanto de aves como de otros animales terrestres.

Como última anotación sobre los procedimientos Point Merge diremos que dentro del programa SESAR JU que se está llevando a cabo en Europa, la implementación de esta clase de aproximaciones está prevista como una generalidad, no como excepciones para zonas específicas, y que prevemos que antes del año 2050 la gran mayoría de aeropuertos de Europa contará con al menos una aproximación de este tipo para sus operaciones.

Terminamos esta memoria exponiendo las claves para llevar a cabo este proyecto de forma satisfactoria. Empezando por el software, el programa NEST supone una ayuda inestimable sin la cual la realización de este proyecto hubiera sido, si no imposible, al menos extremadamente complicada.

Sorprendentemente para este tipo de herramientas, es completamente gratuita y de acceso relativamente libre, puesto que hay que registrarse en Eurocontrol para poder acceder a los datos necesarios de tráfico aéreo. Sin embargo, el proceso es sencillo y rápido: la solicitud que se presentó se resolvió al segundo día de haberla pedido, y no hubo que justificar ni pedir un permiso especial.

El programa presenta una interfaz sencilla pero con muchas opciones, lo que permite realizar muchos estudios distintos con que dan lugar a muchos datos. También da la opción de filtrar los vuelos mediante varios criterios distintos, como son aeropuerto de origen o destino, longitud del vuelo, sectores por los que pasa cada vuelo, si está o no restringido por algún espacio aéreo y un largo etcétera de opciones. Esta profusión de opciones puede resultar apabullante en un principio, pero en cuanto defines cual es el área de trabajo en la que vas a desarrollar el estudio, el resto de opciones son fácilmente ignorables y solo marcar las verdaderamente importantes para el cálculo que se está desarrollando.

Una vez dominado el software de Eurocontrol, el siguiente elemento de software es la combinación de Matlab con Google Earth para determinar e ilustrar el procedimiento diseñado. Matlab es una herramienta de programación increíblemente versátil, que permite la inclusión de módulos y librerías de trabajo para comunicarse con otros programas aunque no sean de la misma clase. Por ejemplo, se puede utilizar para programar un piloto automático en X-Plane, obtener datos de simulaciones de tráfico aéreo de un SACTA o, como es el caso, crear rutas y superficies personalizadas en Google Earth. Durante todo el grado, y en especial en las asignaturas relacionadas y de la especialidad de navegación aérea, Matlab ha sido una herramienta constante en nuestra educación superior, y como alumnos tenemos una amplia experiencia en su uso. Por su parte, Google Earth es una herramienta mucho

más útil de lo que pueda parecer a un usuario aficionado. Además de su uso lúdico o para visualizar mapas o el relieve de una zona por simple curiosidad, es una manera bastante eficaz de representar aerovías, rutas aéreas, volúmenes de control y otras muchas cosas que resultan interesantes para este trabajo y otros similares.

6 **Bibliografía**

- [1] AENA,
«http://www.aena.es/csee/ccurl/483/1011/Copia%20de%2012.Estadisticas_Diciembre_2015.pdf,» [En línea].
- [2] AENA,
«http://www.aena.es/csee/ccurl/136/35/MER_LEAL_MEMORIA_V1.pdf,» [En línea].
- [3] «<http://www.controladoresaereos.org/2016/05/25/como-se-divide-y-organiza-el-espacio-aereo-firctrmaatzcta-video/>,» [En línea].
- [4] «<http://www.sesarju.eu/discover-sesar/history>,» [En línea].
- [5] «<http://www.eurocontrol.int/services/nest-modelling-tool>,» [En línea].
- [6] «<https://aeroestads.org/2015/03/31/la-estacionalidad-en-los-aeropuertos-espanoles/>,» [En línea].
- [7] «https://ext.eurocontrol.int/auth4u/login/login?TAM_OP=login&ERROR_CODE=0x00000000&ERROR_TEXT=HPDBA0521I%20o%20%20Successful%20completion&URL=%2F&HOSTNAME=ext.eurocontrol.int&PROTOCOL=https,» [En línea].

- [8] J. García,
«<http://personales.upv.es/jpgarcia/LinkedDocuments/Teoriadecolasdoc.pdf>,» [En línea].
- [9] «<http://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/sesar/canaries-pms.pdf>,» [En línea].

Pliego de condiciones

1 Condiciones de especificaciones técnicas

Este proyecto está basado en el uso de software de simulación y diseño de espacios aéreos. No se requiere el uso de equipos físicos complejos o de grandes dimensiones, como sería el caso de la mayoría de proyectos experimentales. Básicamente se necesita hardware, software, conexión a Internet, conocimientos ingenieriles (en concreto de diseño de espacios aéreos, navegación aérea en general), cierta experiencia con equipos informáticos, acceso a trabajos y reglamentos relacionados con el tema tratado y personal cualificado para la supervisión del proyecto. A continuación se exponen detalladamente los requisitos establecidos.

1.1 Especificaciones de materiales y equipos

1.1.1 Hardware

Para la realización de este proyecto no se ha utilizado material informático de cálculo, los elementos de software utilizados no precisan de una gran potencia de computación durante mucho tiempo. Sin embargo, se ha optado por utilizar un ordenador portátil *ASUS UX301L* con un procesador *IntelCore i7*. Cualquier otro ordenador con un procesador con menor potencia también sería suficiente para la realización de este trabajo.

1.1.2 Software

A continuación se describe un listado de todo el software utilizado en la realización del trabajo:

- NEST 1.5
- Matlab R2015a, con licencia de estudiante
- Google Earth

- Lector PDF: Adobe Acrobat Reader DC
- Editor de imágenes: Gimp 2
- Editor de textos, hojas de cálculo y presentación de diapositivas: Paquete Microsoft Office 2013
- Navegador de internet: Google Chrome, Mozilla Firefox

1.2 Conocimientos previos

Dentro del ámbito teórico, la realización de este trabajo supone para el alumno que debe haber adquirido un conocimiento básico sobre la gestión del espacio aéreo, así como de las herramientas que se utilizan para diseñar y delimitar los mismos. Del mismo modo, el lado práctico de este trabajo ha requerido del alumno que aplique sus conocimientos de programación en lenguaje Matlab y del uso de herramientas informáticas básicas como hojas de cálculo y procesadores de texto. Por otro lado, el alumno debe estar familiarizado con los documentos técnicos y anexos publicados por OACI y otras agencias, ya que se trata de textos no académicos y con una estructura desacostumbrada en el mundo de la enseñanza.

1.3 Material adicional

Puesto que es imposible para el alumno tener todos los conocimientos necesarios para realizar este trabajo sin consultar fuentes especializadas, es necesario tener acceso a documentos específicos sobre el diseño de espacios aéreos o la regulación de OACI sobre los mismos, además de manuales sobre el uso del software y lugares de referencia o consulta de temas especializados. Es indispensable el conocimiento de inglés para llevar a cabo estas búsquedas, porque la mayoría de las mismas se encuentran en este idioma.

1.4 Consideraciones en el diseño de procedimientos

La consideración más importante a tener en cuenta es que estamos diseñando un procedimiento Point Merge para la aproximación a un aeropuerto.

El diseño en espacios aéreos incluye muchos factores a tener en cuenta, el más importante es que debe ser compatible con los procedimientos que existen en la actualidad. El negocio de la aviación es bastante lento adoptando cambios, aunque sea beneficioso para el sector. Como todos los aspectos de la aviación comercial, las rutas aéreas no pueden sustituirse unas por otras sin un periodo previo de convivencia, periodo que puede alargarse durante muchos años.

Específicamente, los procedimientos RNAV requieren de una tecnología que, si bien está muy extendida, no es común a todas las aeronaves que utilizan nuestro espacio aéreo y podría dar lugar a conflictos.

Por tanto, las rutas existentes suponen un elemento muy importante a tener en cuenta en el diseño de nuevas aproximaciones.

Otro elemento muy importante es la orografía del terreno. En zonas montañosas o con una elevación pronunciada, podría ser inviable la implementación de procedimientos de este tipo debido a la falta de espacio físico para su implementación si queremos que los procedimientos cumplan con un franqueamiento de obstáculos en orden.

Por último hablaremos de la necesidad de los espacios aéreos de implementar esta clase de procedimientos en un futuro cercano. El concepto de Cielo único Europeo propuesto por Eurocontrol contempla la generalización de procedimientos Point Merge en llegadas a aeropuertos con un alto nivel de congestión. Sin embargo, aquellos aeropuertos que por su situación o su uso habitual no tengan un tráfico elevado no es prioritario el cambio a este tipo de aproximaciones. Con esto se quiere decir que aunque los procedimientos no sean restrictivos con el volumen de tráfico, sus ventajas sobre las esperas y aproximaciones convencionales se diluyen si el TMA sobre el que se proyectan no tiene un nivel de tráfico medio o alto.

Planos

<i>Ilustración 1: Propuesta para la cabecera 10</i>	_____	2
<i>Ilustración 2: Propuesta para la cabecera 28</i>	_____	3

CARTA DE LLEGADA NORMALIZADA
VUELO POR INSTRUMENTOS (STAR)-OACI

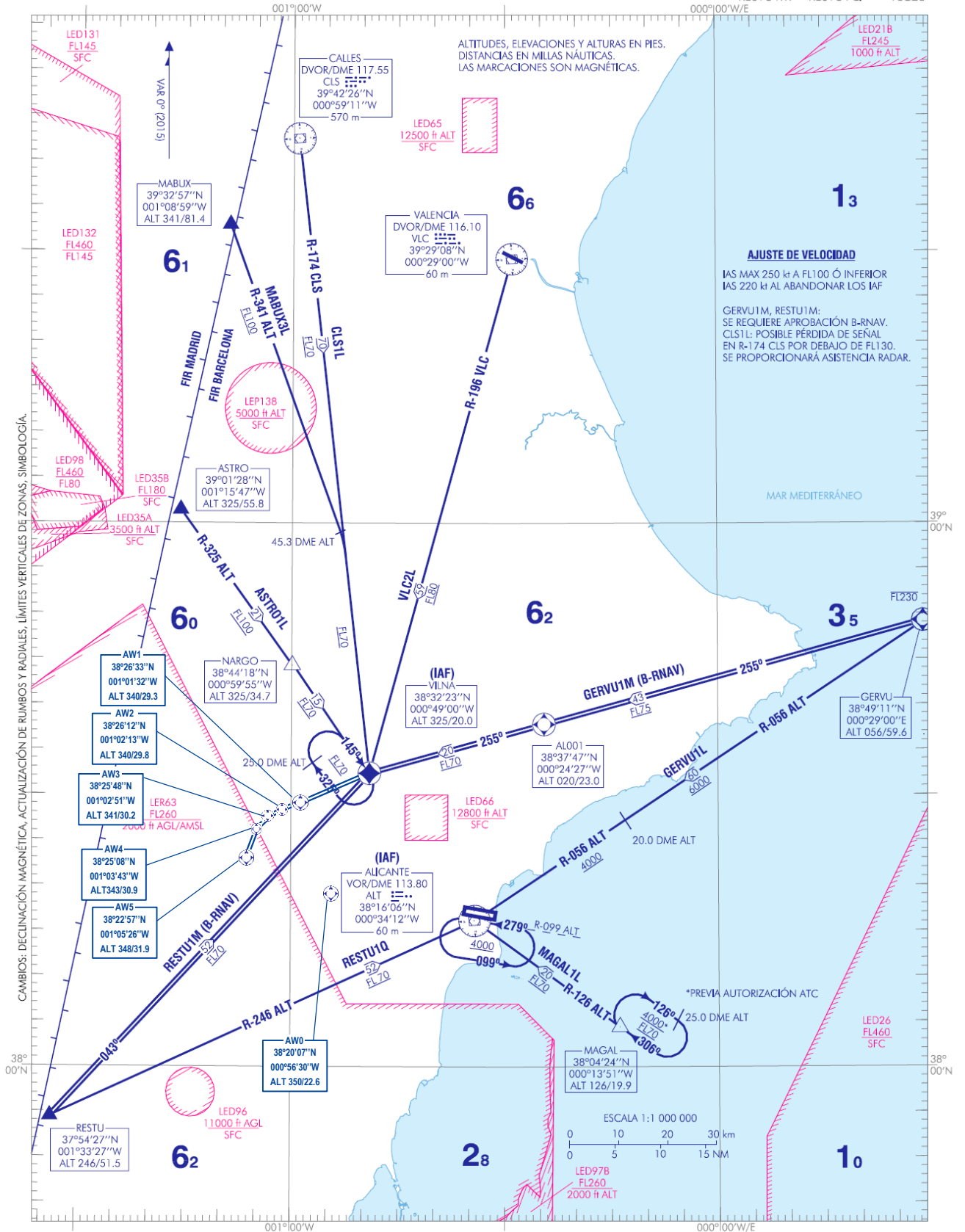
TA 6000

APP 120.400
118.800
TWR 118.150

ALICANTE - ELCHE

RWY 10

ASTRO1L CLS1L GERVU1L
GERVU1M MABUX3L MAGAL1L
RESTU1M RESTU1Q VLC2L

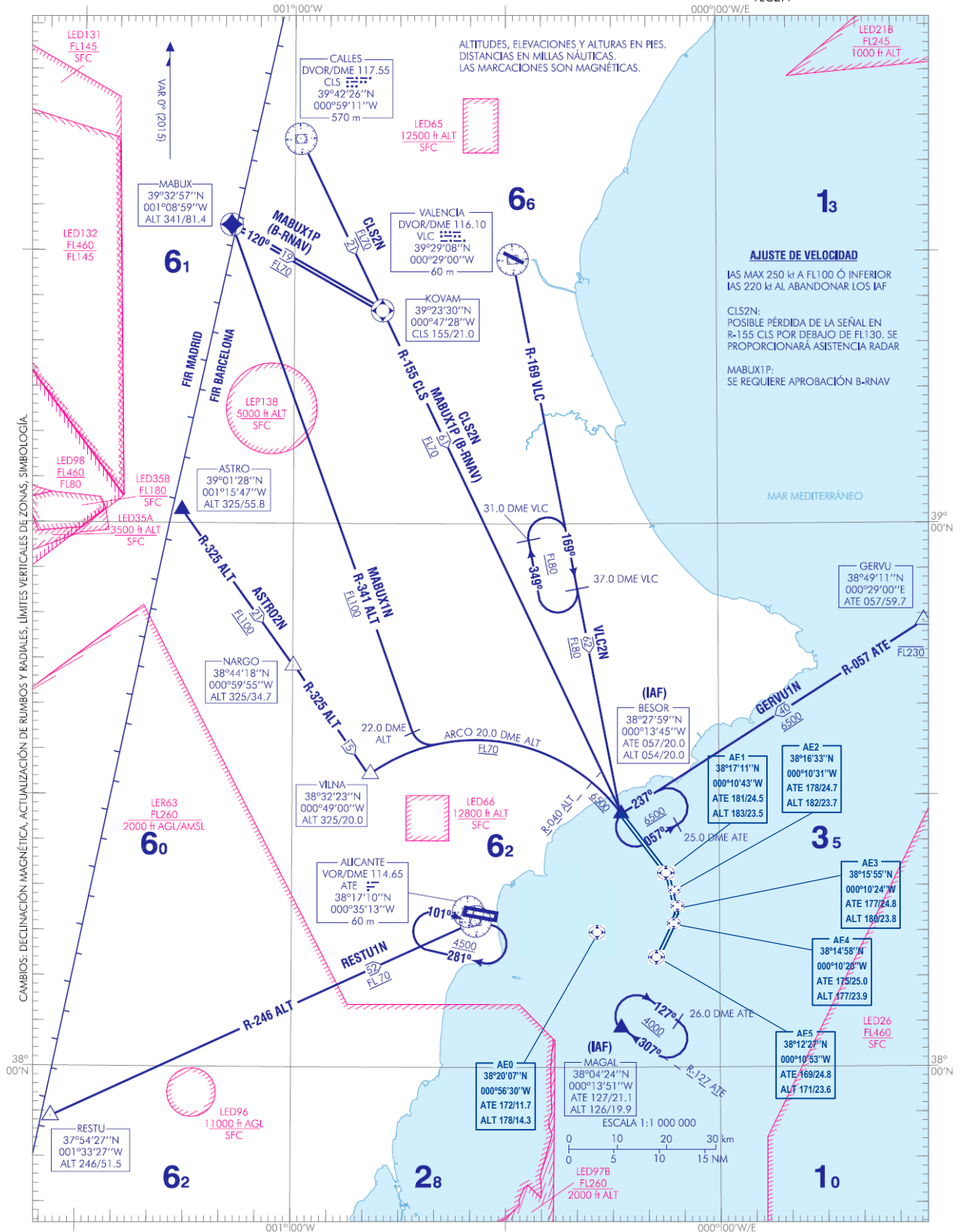


WEF 15-OCT-15 (AIRAC AMDT 10/15)

AIP-ESPAÑA

AD 2-LEAL STAR 1.1

Ilustración 1: Propuesta para la cabecera 10



AIP-ESPAÑA

AD 2-LEAL STAR 2.1

Ilustración 2: Propuesta para la cabecera 28

Presupuesto

Tabla 1: Presupuesto desglosado _____ 6

Tabla 2: Resumen _____ 6

1 Introducción

Este documento muestra los costes que ha supuesto la realización de este proyecto. A lo largo del capítulo se presentan los gastos que conforman el presupuesto total del proyecto, entre los que se encuentran los gastos de material, *software*, personal y de oficina. Para confeccionar el presupuesto es necesario realizar las mediciones de las distintas unidades de obra que lo componen y determinar el precio unitario de cada una de ellas, con lo que se obtendrá posteriormente el presupuesto final. Los precios aplicados se corresponden a tarifas legales vigentes o, si es necesario, a estimaciones coherentes.

El coste de amortización para los bienes utilizados se calcula como:

$$a = \frac{V_C - V_R}{n}$$

$$t_h = \frac{a}{h}$$

Cuyos valores son:

a es la amortización, en euros por año

V_C es el valor de compra, en euros

V_R es el valor residual al finalizar el período de amortización, en euros

n es el período de amortización, en años

t_h es la tasa horaria, en euros por hora

t son las horas trabajadas al año

El coste horario lo calculamos asumiendo que el estudiante ha dedicado a sus estudios aproximadamente lo correspondiente a una jornada laboral de 40 horas semanales. Si contamos con un año académico con 8 semanas no lectivas (incluyendo Navidad, Fallas, Semana Santa y agosto), obtenemos una tasa horaria de:

$$(52 - 8) \frac{\text{semanas trabajadas}}{\text{año}} \cdot 40 \frac{h}{\text{semana}} = 1760 \text{ horas/año}$$

2 Desglose de costes unitarios

2.1 Coste de material y costes unitarios

1. Equipo informático

- Portátil

El alumno usa un modelo ASUS UX301L de su propiedad.

Se estima un valor residual del 20% y un período de amortización de 5 años. El valor de compra del ordenador fue de 1200 euros.

$$a = \frac{1200 - 0,2 \cdot 1200}{5} = 192\text{€/año}$$

$$t_h = \frac{192}{1760} = 0,109 \text{ €/hora}$$

- Conexión a internet

Para la realización del trabajo se ha necesitado conexión constante a internet, ya fuera vía red WiFi o mediante un cable de red. El alumno tiene contratado servicio ADSL por valor de 12,04 euros al mes, lo que hace un total de 144,48 euros al año. Calculamos su tasa horaria:

$$t_h = \frac{144,48}{1760} = 0,082 \text{ €/hora}$$

La conexión a internet en el campus UPV es gratuita a través de las redes inalámbricas, así no se tiene en cuenta.

2. Material de oficina

El uso de material de oficina para la realización de este trabajo ha sido marginal pero debemos tenerlo en cuenta. No se tendrá en cuenta la

depreciación de este material por su corta vida útil, por lo que solo contaremos su precio de compra. El material utilizado consiste en una libreta de precio 1€ para notas, y un bolígrafo y un portaminas con un valor conjunto de 1,5€.

3. Software

A continuación se desglosa todos los programas y paquetes con licencia de pago:

- Matlab

La licencia anual de Matlab para estudiantes es de 69 euros. Calculamos su tasa horaria:

$$t_h = \frac{69}{1760} = 0,04€/hora$$

- Microsoft Office

La licencia anual de Microsoft Office tiene un coste de 99 euros. Calculamos su tasa horaria:

$$t_h = \frac{99}{1760} = 0,054€/hora$$

Los siguientes software listados no tienen coste, y simplemente se nombran como referencia:

- NEST 1.5
- Google Earth
- Google Chrome
- Mozilla Firefox
- Adobe Acrobat Reader DC
- GIMP 2
- Dropbox for Windows

2.2 Coste de personal cualificado unitario

La duración aproximada de este trabajo han sido de aproximadamente dos meses de dedicación completa, lo que suponen 320 horas. Por tanto, se calcularán los suenos en base a este periodo.

- Alumno

Consideramos al alumno como estudiante que realiza prácticas remuneradas en una empresa del sector. Con una jornada de 8 horas, le corresponde una retribución de 650 euros al mes, según la normativa de la ETSID. Calculamos su coste horario:

$$t_h = \frac{650}{320} = 2,031\text{€/hora}$$

- Profesor contratado doctor

El profesor tutor tiene estatus de profesor contratado doctor PDI, con un salario anual de 15.870 euros al año. Calculamos su coste horario:

$$t_h = \frac{15870}{1760} = 9,02\text{€/hora}$$

3 Presupuesto total

CONCEPTO	Período (h)	Tasa horaria (€/h)	Importe bruto (€)	IVA, 21% (€)	Importe neto (€)
SOFTWARE Y EQUIPOS					
Ordenador portátil	320	0,109	34,88	7,3248	42,204
ADSL	320	0,082	26,269	5,5169	31,785
Matlab	100	0,039	3,9	0,819	4,719
Micorsoft Office	100	0,054	5,4	1,134	6,534

Subtotal			70,449	14,794	85,243
PERSONAL					
Alumno	320	2,031	649,92	136,483	786,403
Profesor tutor	50	9,02	451	94,71	545,71
Subtotal			1100,92	231,193	1332,113

Tabla 1: Presupuesto desglosado

TOTAL BRUTO	1171,369
IVA, 21%	245,987
TOTAL NETO	1417,356

Tabla 2: Resumen

El presupuesto total de este proyecto asciende a la cantidad de mil cuatrocientos diecisiete euros con treinta y seis céntimos.