

## UNA PROPUESTA PARA LA MEJORA Y ARMONIZACION DE LOS PROCEDIMEINTOS OPERATIVOS EN AEROPUERTOS ARGENTINOS

**Sonia Eirin<sup>a</sup> – Marta Poiasina<sup>b</sup>**

<sup>a</sup>Dpto. de Ingeniería en Sistemas - Facultad Regional Buenos Aires  
Universidad Tecnológica Nacional

Medrano 951 - Ciudad Autónoma de Buenos Aires – Argentina

Dpto. de Ingeniería Aeronáutica - Facultad Regional Haedo

Universidad Tecnológica Nacional

París 532 - Haedo – Pcia. de Buenos Aires

<sup>b</sup>Dpto. de Ingeniería en Sistemas - Facultad Regional Buenos Aires

Universidad Tecnológica Nacional

Medrano 951 - Ciudad Autónoma de Buenos Aires – Argentina

Email: [eirin@labint.frba.utn.edu.ar](mailto:eirin@labint.frba.utn.edu.ar)

### RESUMEN

*Como es bien sabido los desarrolladores de sistemas aeronáuticos están en permanente búsqueda de mejoras. Este trabajo presenta una propuesta para la mejora de la seguridad y la eficiencia de las operaciones del tránsito aéreo de aproximación, exponiéndose los lineamientos básicos para evaluar la conveniencia de su implementación en aeropuertos argentinos. Ésta propuesta de mejora de las operaciones actuales/convencionales, que producen una significativa carga de trabajo a los controladores y a la tripulación de la cabina, dado al gran volumen de información transmitida en las comunicaciones, además de dificultad en la predicción de las trayectorias. Se espera que la metodología descrita proporcione beneficios que mitiguen las limitaciones de la forma actual de operar, en términos de seguridad, medio ambiente y capacidad, incluso en condiciones de alto tráfico. Estas mejoras pueden obtenerse mediante una metodología, denominada internacionalmente Merge Point /PM, basada en una estructuración de las rutas P-RNAV, consistente en un PM y una serie de fases predefinidos equidistantes de ese punto. El secuenciamiento es logrado mediante una instrucción directa de fusión en ese punto en el momento apropiado, siendo la función específica de las fases la de producir el espaciado de la aeronave proporcionalmente a la longitud de la fase correspondiente.*

**Palabras clave:** RNAV área de aeronavegación P-RNAV área de aeronavegación con precisión MERGE POINT / PM, Punto de fusión

### 1.-INTRODUCCIÓN

#### 1.1 – GENERAL

Ésta metodología ha sido desarrollada en el año 2006 por el Centro Experimental EUROCONTROL - organización internacional con 39 miembros, de la cual la Unión Europea es miembro desde Octubre del 2002 – y cuyas funciones principales son: Apoyar a los estados miembros para lograr operaciones de tráfico aéreo seguras, eficientes y amigables con el medio ambiente en toda la región europea, para conseguir un Cielo Europeo Único, el cual ayudará a satisfacer los desafíos de seguridad, capacidad y performance de la aviación europea. Y ofrecer una plataforma para la coordinación civil/militar. Así como también apoyar las operaciones día a día de la Red de Gestión de Tráfico Aéreo europea (ATM)

## **1.2 – PRINCIPALES BENEFICIOS**

Los principales beneficios de la metodología propuesta son: la simplificación y reducción de tareas del controlador y de la tripulación, dada la precisión y reducción de la información enviada en la comunicación, el mejor control de las trayectorias de vuelo a partir del PM, los flujos de tráfico más ordenados con una mejor visión, una mejor predicción de la trayectoria, permitiendo mayor eficiencia del vuelo, el aumento del rendimiento de la pista a través de la optimización de la separación por turbulencia de las estelas mejorando los perfiles de descenso, La estandarización de las operaciones y mejor gestión del espacio aéreo de la terminal, aumentando su capacidad de tránsito, y la disminución de la contaminación ambiental, así como una menor contaminación acústica y reducción de gastos de combustible.

## **1.3.- AEROPUERTOS QUE LA UTILIZAN**

Esta metodología en la actualidad es totalmente operacional con la utilización del Planeador de aeroespacio EDDA eCoach, que es una herramienta práctica para la creación, modelado, simulación y optimización, en los siguientes aeropuertos: Oslo desde el año 2011, Dublín desde el 2012, Seúl desde el 2012 y París desde el 2013. Asimismo está planeado que los aeropuertos de Londres (Gatwick y London City) formalicen su uso en el próximo año (2015). En abril de 2011 Avinor, ANSP en Noruega, puso en funcionamiento el concepto STAR en el aeropuerto principal de Oslo, Gardermoen (OSL). El nuevo diseño de PMS, obtuvo una mejora de la capacidad de la terminal, reduciendo así el impacto ambiental y la carga de trabajo del controlador. Y con la introducción de STAR se logró la reducción del tiempo de vuelo y del combustible, compactando el espacio aéreo de la TMA. Para poner a prueba el rediseño del espacio aéreo, Avinor junto con Edda Sistemas AS (ESAS) realizó simulaciones para validar el diseño mejorado del espacio aéreo. Los simuladores e-Coach proporcionan un diseño fácil y rápido. Además, Avinor y ESAS diseñaron un software para importar los ejercicios simulados previstos para el sistema NATCON (sistema de ATM de Avinor). El nuevo software de última generación también proporciona soporte para HMI que son muy intuitivos, fáciles de usar y fácil de aprender. Dados los buenos resultados de la simulación Avinor / OSL continuarán con la implementación de la mejora del diseño del espacio aéreo según lo previsto.

## **2.- IMPLEMENTACION NACIONAL**

### **2.1 – GENERAL**

Atento a las significativas ventajas de la metodología se procederá a realizar un estudio de factibilidad de implementación de la misma en Aeropuertos Argentinos, en conjunto y con la colaboración de Eurocontrol y Edda Sistemas AS (ESAS). El objetivo principal de este proyecto es el de mejorar y sincronizar las operaciones de ascenso y descenso de aeronaves generando un flujo de tráfico aéreo más ordenado con un aumento del rendimiento de la pista, a través de la optimización de la separación por turbulencia de la estela y mejorando los perfiles de descenso, minimizando el impacto ambiental (con CDA y contención de las trayectorias).

Mejorando así la eficiencia de los vuelos e incrementando la previsibilidad a través de la aplicación extensa de RNAV y el uso de la orientación lateral de FMS incluso en alto tráfico.

Además de reducir y precisar con mayor exactitud la información enviada en las comunicaciones, simplificando las tareas del controlador y de la tripulación

### **2.2 – PROYECTO**

Para ello en este proyecto se procederá al rediseño, modelado, simulación de la secuencia completa de la fases en un PM y confección de una propuesta de implementación de este nuevo sistema de gestión

del flujo de descenso de aeronaves en Aeropuertos Argentinos teniendo como propósito el incremento de la seguridad y el control de los mismos, disminuyendo la contaminación ambiental, generando una menor emisión de gases contaminantes así como una menor contaminación acústica. Se utilizarán herramientas de última generación para la gestión de la seguridad operacional y planificación de los flujos de descenso de aeronaves, reconsiderando el espaciado entre aeronaves, pero siempre respetando las normativas nacionales e internacionales vigentes, así como los conceptos básicos de la gestión de la seguridad operacional y de las Normas y Métodos recomendados por la OACI.

### 3-METODOLOGÍA

#### 3.1 CONTEXTO OPERACIONAL

**Espacio aéreo y fases de control** (adaptable a la organización del espacio aéreo local).

Los procedimientos descritos aquí se refieren a la fase de arribos, por lo general comienzan cuando las aeronaves salen de su nivel de crucero en ruta - habiendo llegado a su inicio de descenso (TOD), y termina cuando la aeronave alcanza el FAF o son transferidos a la torre. Esta fase se refiere principalmente al aeropuerto e incluye la TMA de control de aproximación. Para controlar la alta densidad del tráfico de arribos, se introduce una extensión de la TMA denominada E-TMA a fin de gestionar el espacio aéreo, se la puede considerar como una transición entre los sectores de TMA en ruta y que corresponde al espacio aéreo delegado de ruta y que cubre la fase de control de los vuelos que ya están en descenso pero no han entrado todavía en la TMA. Consideraremos para la aproximación de los arribos, la sucesión de E-TMA, TMA dentro y TMA. La E-TMA/TMA, incluye el o los sectores de la interface de la terminal ACC y/o posiblemente el sector de TMA (s), típicamente entre el TOD y el IAF. La fase de aproximación del espacio aéreo /y su control corresponde al sector de arribos de (APP), típicamente entre el IAF y el FAF o la transferencia a la Torre. Los controladores del sector TMA pueden ser en realidad ubicados con los controladores del sector de la terminal de ACC, o ubicados con los controladores del sector de APP. El IAF, cuando se define la cola de espera podría estar dentro del área de responsabilidad de un sector de la TMA, o de un sector de la APP; La E-TMA, corresponde a los sectores de Interface de la Terminal ACC.

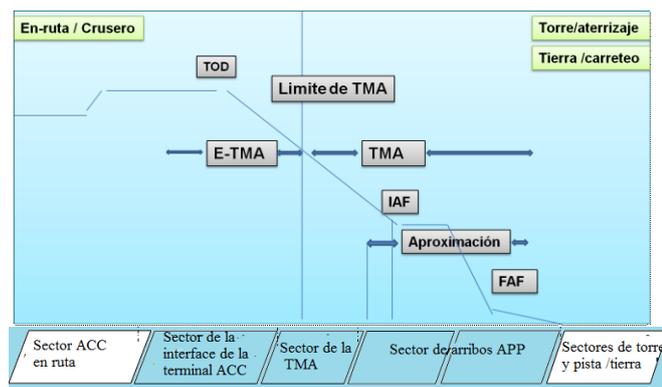


Figure 3-1. Fases de control y los sectores del aterrizaje

#### 3.2 TAREAS DE CONTROL DE TRÁNSITO AÉREO

En el espacio aéreo de la terminal, las aeronaves que realizan una aproximación al aeropuerto desde los sectores circundantes, siguen el número de STAR que le proporciona el paso desde la estructura en ruta, y progresivamente se fusionan al flujo de aterrizaje a la pista activa. A fin de obtener un tránsito aéreo más seguro, ágil y ordenado, los controladores deben: 1). Separar los arribos de otros arribos 2).Separar los arribos de las partidas (estratégica de conflictividad SID y STAR) 3).Integrar los arribos de forma segura y eficiente en una secuencia de aterrizaje a cada pista.

**Las tareas del control del tráfico aéreo (ATC) también incluyen:**4) Separar los arribos y partida de los obstáculos del terreno (según el contexto operativo, de acuerdo con la normativa de la OACI que regula la responsabilidad del despeje del terreno 5) Impedir un arribo no autorizada a aéreas segregadas. **En la E-TMA, la tareas de la ATC serían las siguientes:**6) Separar los arribos durante los sobrevuelos;7) Integrar los arribos de forma segura y eficiente en la secuencia intermedia.

### 3.3 ENFOQUE EN LA INTEGRACIÓN DE LOS ATERRIZAJES

#### 3.3.1 SECUENCIAS INTERMEDIAS Y FINALES

La integración de los flujos de arribos implica una convergencia progresiva por las dimensiones de tiempo lateral, vertical y longitudinal a la pista de aterrizaje por esto se deben diseñar secuencias intermedias, y flujos de tráfico sincronizados (gestión de colas", que abarca aspectos de separación y de sincronización) para conseguir la secuencia total a la pista. Por lo tanto, la integración de los arribos puede dividirse en una sucesión de gestiones de secuencias intermedias a los PM intermedios. **La gestión de las secuencias intermedias**, en los sectores ETMA/TMA, tiene los siguientes **objetivos operacionales: Secuenciación de los vuelos (ordenamiento) - Separación - y Medición** (hacia un IAF, o un punto antes de un IAF). **La gestión de la secuencia de aterrizaje final** (en la aproximación) tiene los siguientes objetivos: **Secuenciación final de los vuelos (ordenamiento) - Separación hacia la pista de aterrizaje**

#### 3.3.2 FASES EN LA GESTIÓN DE SECUENCIA

La gestión de cada secuencia (ya sea intermedia o final) se puede describir de acuerdo con las siguientes fases, conservando todos los objetivos operativos.

- **Planificar y Preparar la secuencia:** asignando pista a los aterrizajes, definiendo el orden de la secuencia y determinar el espaciado apropiado (retrasando / adelantando los vuelos);
- **Crear la secuencia:** generando el orden de la secuencia y creando el espaciado apropiado entre las aeronaves;
- **Mantener la secuencia:** manteniendo el orden de secuencia y del espaciado entre aeronaves

Debido a que la secuencia planificada puede evolucionar y producirse solapamientos entre estas fases.

#### 3.3.3 NECESIDAD DE UNA TRAYECTORIA LATERAL DE ESTIRAMIENTO O ACORTAMIENTO

Con el propósito de integrar los flujos, para crear y mantener una secuencia es necesario poder acelerar o retrasar la aeronave a fin de lograr el espaciado longitudinal. Cuando aumenta la demanda de tráfico, y/o en función de la presentación de tráfico, los ajustes de velocidad pueden no ser suficiente y será necesario crear una trayectoria de acortamiento / o estiramiento.

### 4. COMPONENTES DE PMS

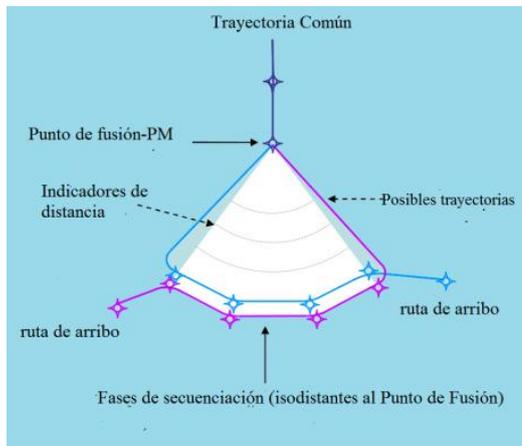
El nuevo procedimiento es una aplicación de P-RNAV basada en 2 componentes: **Una estructura de ruta específica** con una geometría convergente inherente y una trayectoria incrustada con capacidad de estiramiento. **Y un método de operación sistematizado asociado** que permite un amplio uso de RNAV con un sistema incorporado de descenso continuo.

#### 4.1 ESTRUCTURA DE LA RUTA "POINT MERGE SYSTEM" (PMS),

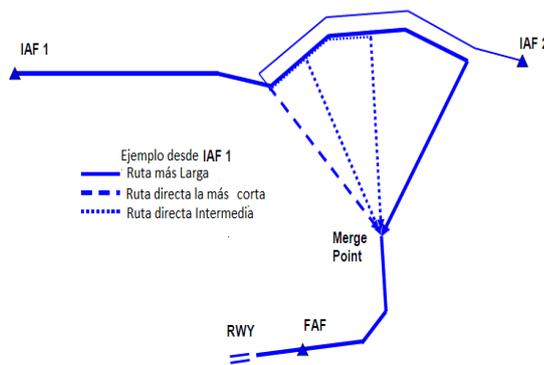
La estructura de la ruta se puede definir como un procedimiento de aproximación inicial, o una parte del mismo RNAV STAR, y se caracteriza por lo siguiente:

- Un solo PM, que se utiliza para la integración del tráfico;
- Fases (o legs) predefinidas isodistantes (que la distancia hasta el PM deberá ser la misma a lo largo de la fase asignada con un arco centrado en el PM) y equidistantes (las fases distintas deberán estar diseñadas a la misma distancia desde el PM) al PM que están dedicadas a la trayectoria de

estiramiento o acortamiento para cada flujo de arribo. Estas fases deben estar separadas por un diseño vertical, lateral o ambos.



Ejemplo de las dimensiones (en la aproximación):  
Punto de fusión a 6000 pies;  
Fases de secuenciación a FL100-FL120,  
20NM de largo, por lo menos desde 20NM al Punto de fusión (distancia suficiente para permitir el descenso a la altitud del punto de fusión para todos los tipos de aeronaves en condiciones más frecuentes)  
2NM entre las fases verticales separadas paralelamente



#### 4.1 ESTRUCTURA DE RUTA

Se proporciona un ejemplo típico de un sistema de PM con 2 secuenciaciones que son: 1). Paralelas con una aproximación de requisito equidistante a una distancia lateral de 2 nm, de direcciones opuestas y separadas verticalmente. 2). Segmentos, formando arcos cuasi centrados en el PM. La asignación resultante de las posibles rutas hacia el PM se encuentra en un área "en forma de triángulo". Además se debe incluir: Un segmento inicial alimentador de cada S.LEG, a partir de un punto de entrada de PMS definido (IAF) y terminando en el primer punto de S.LEG.- Un segmento de la ruta "de S.LEG sin ejecutar" que une el extremo de cada S.LEG y el PM. -Y un segmento final formando de una ruta en común, comenzando en el PM y terminando en un punto de salida de PMS definido (FAF). Las S.LEG tienen una longitud máxima predefinida, que corresponde a la trayectoria de máxima de la capacidad de estiramiento del PMS. La capacidad nominal de la ruta de estiramiento que se utiliza en un PMS debe ser más pequeña, dejando márgenes suficientes para satisfacer a condiciones no nominales utilizando a la longitud total de las fases si fuese necesario. Y la ruta activa del FMS deberá incluir toda la longitud de la S.LEG, así como la fase del segmento sin ejecutar posterior que concluye el procedimiento hacia el PM. Esto debe servir como base de ruta en caso de "fallo de radio"

#### 4.2. MÉTODO DE OPERACIÓN

El método de operación tiene como objetivo la integración de los flujos de entrada, utilizando la estructura de rutas PMS, y comprende 2 fases principales: la 1era. **la creación del espaciado** través de una trayectoria de estiramiento sin intervención de la ATC – dejando que las aeronaves vuelen a lo largo de S.LEG seguido por una instrucción **de directo-al PM**, emitida cuando se alcanza el espaciado apropiado con la aeronave precedente en la secuencia y la 2da. **La mantención de la distancia a**

**través del control de velocidad al salir de las fases,** en procedimiento normal interviene una ATC lateral y como se trata de un bucle cerrado, la aeronave permanece bajo el control lateral del FMS, aquí la instrucción "directa al punto " crea tanto el orden de la secuencia como el espaciado longitudinal inicial de la secuencia entre aeronaves. Además los procedimientos alternativos de PM pueden incluir el uso de vectores de lazo abierto para aeronaves no equipadas o para hacer frente a acontecimientos inesperados El procedimiento normal también involucra la intervención de una única ATC vertical, es decir, un permiso de descenso que puede ser otorgado después de la instrucción "directo al punto ", cuando la otra fase está sin tráfico. Conforme a las opciones de diseño, esto puede ocurrir en diferentes etapas del procedimiento. El perfil de descenso se puede optimizar, al menos en la altitud /o el nivel de la secuenciación de la fase, realizando una (CDA) – ya que la distancia a recorrer es conocida por el FMS.

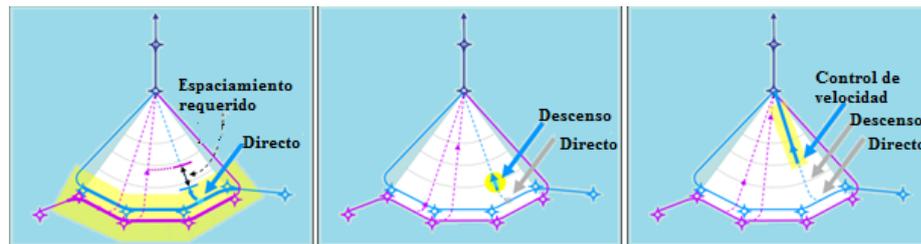


Figura 4.2 Pasos principales del método de PM

La propiedad iso/equidistante en la estructura de rutas, durante la trayectoria de estiramiento, permite al controlador evaluar fácilmente e intuitivamente el espaciado con la aeronave precedente en la secuencia (en curso al PM) y determinar con exactitud el momento apropiado para emitir la instrucción 'directo-a'.

### 4.3 PRINCIPALES OPCIONES DE DISEÑO

Como se indicó las S.LEG deberán estar separadas en al menos una dimensión: lateral o vertical. La misma dimensión se puede utilizar a lo largo de las fases o una combinación de ambos (por ejemplo, separación lateral en algunas partes, y vertical en otros). La separación vertical entre las fases se puede lograr a través de cualquier nivelación o descenso restringido, las 3 opciones principales son: **a) Las fases paralelas con solapamiento completo** **b) Las fases paralelas con superposición parcial** **c) Las fases no paralelas sin superposición (disociada)**

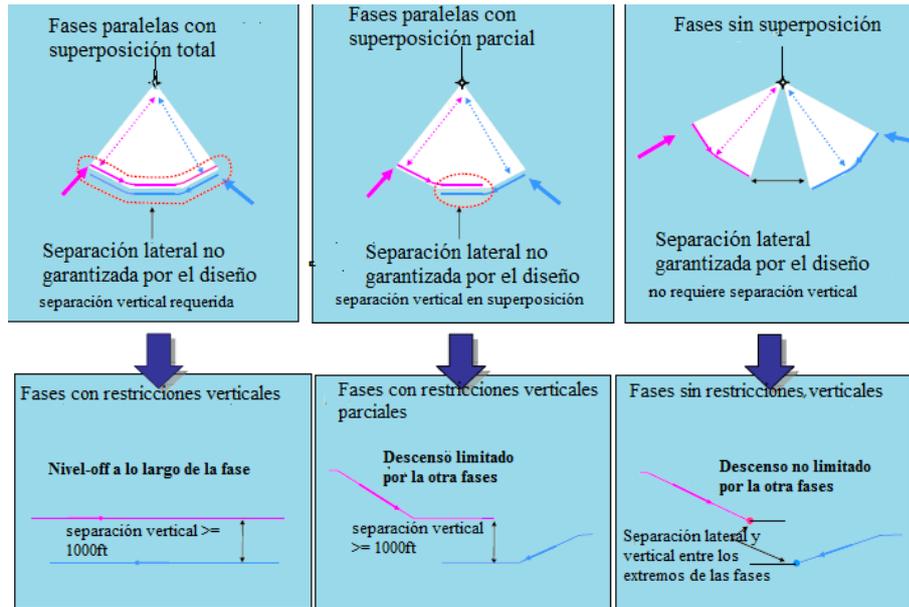


Figure 4.3 diseño lateral y vertical

**Nota:** PM es válido también si la aeronave precedente en la secuencia no está equipada ya que se prevé su vectorización a lo largo del procedimiento normal PM

#### 4.4 METODOLOGÍA OPERATIVA

**Planear y preparar la secuencia:** (Figura 4.4.0) **Paso 1:** ATC: Chequea el orden de la secuencia, antes que la aeronave entre en la S.LEG **Paso 2:** la ATC: comprueba las condiciones de entrada (altura, velocidad, separación) y emite la instrucción antes de que la aeronave entre en la fase y La **Tripulación:** Ejecuta la instrucción.

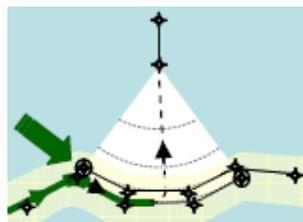


Figura 4.4.0

**Crear la secuencia:** (Figura 4.4.1) **Paso 3:** ATC: Monitorea el espacio detrás de la aeronave en la secuencia anterior y prever cuándo se logrará el valor requerido. La **Tripulación de vuelo:** Vuela a lo largo de S: LEG (con LNAV). **Paso 4:** ATC: Emite la instrucción directa-al PM izquierda/derecha, cuando la aeronave tenga el espaciado necesario detrás de la aeronave precedente. Y la **Tripulación:** Ejecuta la instrucción 'directa-al PM (con LNAV)

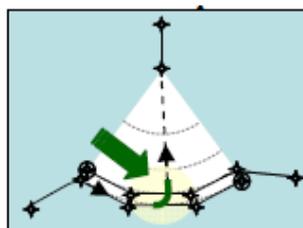


Figura 4.4.1

### Mantener la secuencia (Figura 4.4.2)

**Paso 5:** ATC: Emite el permiso de descenso cuando se libere el otro tráfico y cuando corresponda según la altitud y el nivel de la ventana del PM o a la salida del sistema de PM. La **Tripulación:** Gestiona el descenso según la autorización, con LNAV **Paso6:** ATC: controla la velocidad con un espacio optimizado para la salida del sistema de PM. La **Tripulación:** Ejecuta la instrucción de velocidad mientras vuela directo al PM cumpliendo con altitud / nivel hacia su último punto (LNAV)

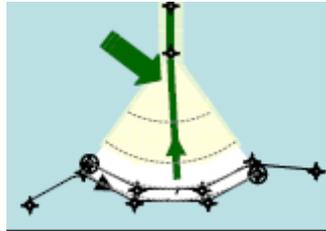


Figura 4.4.2

## 4.5 PARÁMETROS DE DIMENSIONAMIENTO

Los parámetros clave del sistema de PM incluyen: la longitud de la S.LEG, la distancia entre la S.LEG y el PM, la distancia entre la S.LEG y el último punto del procedimiento, la altitud y nivel de la S.LEG (o la entrada al sistema del PM), y / o la diferencia del nivel en la ventana / la altitud en la salida del sistema de PM, la altitud / nivel de la ventana del PM.

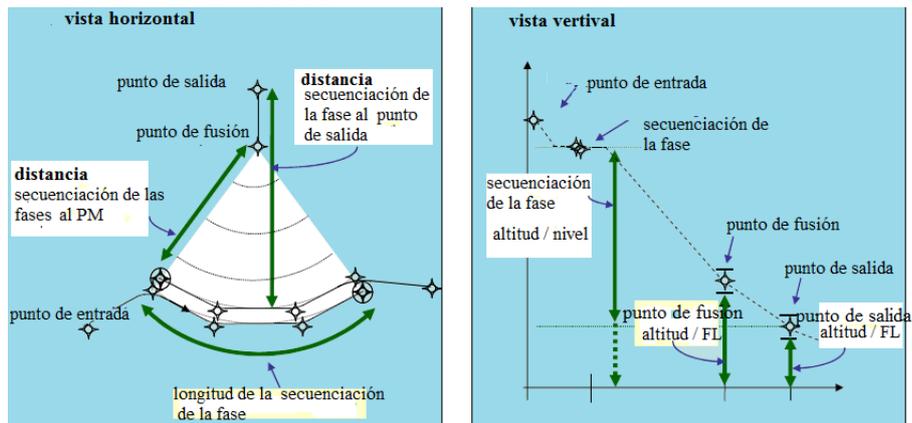


Figura 4.5 Parámetros

El tamaño de un PMS va a estar limitado por el tamaño del volumen del espacio aéreo disponible y el hecho de que el procedimiento deberá ser diseñado "con un perfil vertical que permita diferentes tipos de aeronaves y condiciones atmosféricas", además de la sectorización del espacio aéreo y sus límites.

## 4.6 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

Las opciones de diseño se relacionan con las siguientes características: la posición relativa de la S.LEG en el plano horizontal (paralelo, agrupada o disociada, de dirección igual o contrario), el número de niveles utilizados por la fase. Otras características geométricas del PMS dependen de la posición relativa de la S.LEG en el plano vertical, la forma de la S.LEG (fases rectas o segmentos más cerca a los arcos. los puntos de inflexión previamente definidos en la S.LEG de cambios de ruta en vez de las instrucciones inmediatas de directa-a, el número de la S.LEG, los Ángulos y simetría.

### 4.6.1 LA SIMETRÍA EN UN SISTEMA DE POINT MERGE

Se recomienda, como principio general, asegurar la simetría en el diseño de una estructura de ruta de PM, con el fin de que el método sea tan simple e intuitivo para aplicar como sea posible, y para asegurar una mejor previsibilidad de las trayectorias de vuelo. Este principio de simetría se aplica en particular a distancias equidistantes, incluyendo los ángulos (como se detalla a continuación).

#### 4.6.2 LOS ÁNGULOS EN UN SISTEMA DE POINT MERGE

En un sistema de PM pueden definirse los siguientes ángulos (Figura 4.6.2):

- El cambio del ángulo en el 1er. waypoint en la S.LEG ( $\alpha$ ) y, en caso de las fases segmentadas, los subsecuentes cambios del ángulo en los sucesivos waypoints de la S.LEG ( $\alpha'$ ,  $\alpha''$ ...)
- El cambio de ángulo correspondiente a la instrucción directo-al PM ( $\beta$ )
- El ángulo formado por las posibles rutas hasta el PM ( $\delta$ )
- El cambio de ángulo en el PM ( $\gamma$ ) – hacia la salida del sistema de PM

Existen 2 tipos diferentes de Waypoints:- **fly-by Waypoints:** son los que requieren anticipación del viraje para permitir la interceptación tangencial de la siguiente trayectoria de la ruta, se deben utilizar, siempre que sea posible- **Fly-over Waypoints:** cuando el viraje se inició (la aeronave empieza a girar a la siguiente fase de ruta a medida que vuela sobre el Waypoint).sólo debe utilizarse cuando sea necesario. Los "Waypoints" que definen la S.LEG (con la posible excepción del último punto en cada fase) y el PM será un Fly-by Waypoints. En consecuencia,  $\alpha$  ( $\alpha'$ ,  $\alpha''$ ,...) y  $\gamma$  corresponden a transiciones Fly-by.

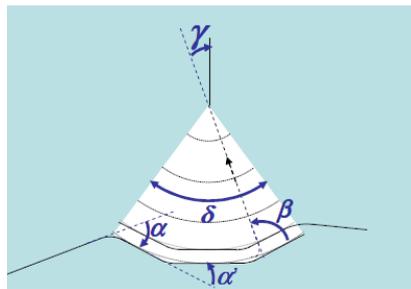


Figura 4.6.2

**Pautas generales para P-RNAV:** Como regla para el diseño de un procedimiento P-RNAV, los ángulos  $\alpha$  ( $\alpha'$ ,  $\alpha''$ ...) y  $\gamma$  deberán ser inferior a 120 °, y como estos ángulos corresponden a transiciones Fly-by, deben en lo posible ser menor a 90 °. Como ya hemos dicho los cambios de ángulo en los waypoints junto con la longitud de los segmentos y el máximo previsto de viento, son factores clave en el procedimiento de diseño. Por otra parte, los grandes cambios ángulo en "Waypoints" pueden aumentar la sensibilidad de las aeronaves al virar

#### 5-RESULTADOS A PATIR DE UN EJEMPLO PRÁCTICO

(PM realizado en EUROCONTROL en enero de 2009 en 2 fases)

- Una serie de 6 simulaciones en tiempo real se llevó a cabo en el Centro Experimental con un equipo de Controladores (en 19 días de simulación en total).
- Una sesión de 2 semanas se llevó a cabo en París para exponer la aplicación a un amplio panel de controladores (36 participantes en total, 4 por día, durante 9 días en 2010). Durante la 1er. fase, el estudio siguió un enfoque iterativo, en el cual los objetivos de cada sesión del prototipo dependían de resultados de la anterior. Se investigaron la viabilidad y operatividad (variantes del diseño, métodos de trabajo). Y se evaluó el beneficio. El ambiente se enriqueció con el fin de simular operaciones más integrales y realistas (2 puntos de medición, sobrevuelos, viento, carga de alto tráfico, gestión de arribos y las limitaciones actuales). **Los resultados** de ambas fases fueron constantes y positivas. Los controladores informaron que el metodología de PM es fácil de usar y facilita la secuenciación de los flujos de llegada respetando los

slots de la Gestión de arribos, También informaron que PM aumenta la disponibilidad del controlador con una mejor división de tareas, más anticipación, menor carga de trabajo y comunicación. Finamente se confirmo el 10% de reducción global de las instrucciones. Además de recibir menos instrucciones, las aeronaves permanecieron la mayor parte del tiempo bajo LNAV en FMS. Los Controladores consideran que la seguridad mejoró, debido, en particular, a la reducción de la carga de trabajo aumentando la disponibilidad del controlador. Sin embargo, destacaron la necesidad de permanecer atentos y la disminución de la vectorización. El Rendimiento en cuanto a la entrega del tráfico a la TMA y la eficacia de vuelo fueron similares, como la distancia y el tiempo de vuelo y el consumo de combustible (la varianza en distancia y tiempo de vuelo se redujeron). Las Trayectorias voladas fueron más ordenadas con una dispersión contenida. Con el aumento de la disponibilidad, los controladores informaron del potencial para aumentar la capacidad de forma segura. De la sesión del simulador de entrenamiento en París, la respuesta de los controladores fue muy positiva. Los principales beneficios fueron: sencillez y robustez del procedimiento, una mejor y más clara división de tareas y funciones, reducción de la carga de trabajo y de comunicación, mayor seguridad y capacidad, mejor entrega de las aproximaciones y una mejor visión de la secuencia de llegada. Desde la perspectiva del proveedor del servicio, se identificaron otros beneficios: como una mejor gestión del espacio aéreo, y CDA, y que no es necesario ninguna modificación del sistema. En general, el estudio demostró que PM es aplicable a los sectores de arribos y tiene un potencial considerable para mejorar la seguridad y aumentar la capacidad con las restricciones del espacio aéreo actual, sin aumentar la distancia de vuelo.

**Los resultados muestran** que el modelo PM reduce: la carga de trabajo del controlador media ( $20 \pm 1\%$ ), el número de instrucciones a los pilotos ( $\sim 30\%$ ) y el consumo de combustible ( $170 \pm 14$  kg), en comparación con la vectorización

## 6. SEGURIDAD Y ESTELA TURBULENTA

El problema de la estela turbulenta lo hemos tratado con el personal de CEE y hemos recogido informes y documentos procedentes de diversas fuentes de Eurocontrol y de otros más. Como es bien sabido la turbulencia de la estela presenta un peligro significativo durante el aterrizaje y despegue y limita la capacidad de la pista. Estos vértices generalmente se disipan rápidamente, pero la mayoría de los aeropuertos optan por el escenario más seguro, lo que significa que el intervalo entre aeronaves a despegar o aterrizar equivale a varios minutos. Se deberá reducir la separación entre aeronaves en el despegue y el aterrizaje sin comprometer la seguridad. Las presentes distancias mínimas pueden reducirse de forma segura para aumentar la capacidad del aeropuerto. De hecho, con la ayuda de los datos meteorológicos precisos y las medidas precisas de la turbulencia de la estela, se puede establecer intervalos más eficientes, en particular cuando las condiciones climáticas son estables. En función del volumen de tráfico, estos ajustes pueden generar importantes ganancias de capacidad. La estela turbulenta puede ser detectada utilizando un Doppler de infrarrojos LIDAR utilizando el polvo ambiental en suspensión como indicador. Existen 2 configuraciones posibles para la detección: en el plano transversal (perpendicular a la trayectoria de la aeronave) o axialmente (el eje LIDAR paralelo a la trayectoria de la aeronave). Se realizó una serie de estudios del fenómeno de la estela turbulenta a fin de desarrollar un sistema integrado de control de tráfico aéreo (ATC) que permita la separación de aeronaves a distancias variables, a diferencia de las distancias fijas actualmente aplicadas, se diseñaron separaciones mínimas de 6NM para aviones pequeños (llegando detrás de uno más grande), y de 3NM para las aeronaves más grandes. Si estas distancias fijas se redujeran en condiciones climáticas favorables sin comprometer la seguridad, la capacidad de tráfico del aeropuerto aumentaría. Para las aproximaciones, el objetivo es gestionar distancias de separación hasta 2,5NM, en condiciones climáticas perfectas, para todo tipo de aeronaves. Y para las partidas, el objetivo es reducir la separación de tiempo entre aeronaves de 90 seg. (en condiciones de viento favorables). La ATC de la estela integra el clima y los sensores de estelas, la predicción meteorológica y los sistemas de predicción inmediata, un predictor de estela turbulenta, un planificador de modalidad de separación, y las interfaces de control de tránsito aéreo. Se utilizaron los siguientes 4 paquetes:

- Los **Requisitos del concepto operacional de la estela de ATC** y el sistema que establece el concepto operacional y los requisitos para la aplicación de la separación de las aeronaves reducida bajo condiciones climáticas favorables. La separación reducida de la estela turbulenta en condiciones de viento cruzado es de 2,5 Nm entre todas las aeronaves en la misma aproximación final de la ruta y 90 segundos entre todas las aeronaves que salen en la misma pista.

- El **Diseño del sistema de la estela ATC** y el desarrollo establecen una plataforma integrada con 4 nuevos componentes de interfaz de varios sistemas de ATC, estos son : Un planificador de Stela ATC para el modo de separación, un predictor de la estela ATC, un monitor de la estela de ATC y alerta, y un detector ATC-de la estela. Estos componentes constituyen el sistema de asesoramiento de la separación (SAS).y las Interfaces ATC hombre-máquina que se han diseñado, especificado y probado a través de 2 simulaciones en tiempo real con los controladores activos de los países Europeos.

- **Las potenciales mejoras de seguridad y de capacidad:** para evaluar las potenciales mejoras de seguridad y capacidad, dependiendo de las condiciones de viento cruzado favorables, el uso del Sistema de Wake o estela de la ATC mejoró notablemente el rendimiento de la pista y las demoras. En un aeropuerto con condiciones de viento normales, el aumento del rendimiento de la pista es de alrededor del 2% para las operaciones de partidas normalizadas del ATC de la estela y del 5% para las operaciones de arribo .La evaluación de la calidad de la seguridad se realizó mediante la evaluación del potencial de riesgos y los escenarios de conflicto, mientras que la evaluación del riesgo inducido de la estela turbulenta se utilizó la herramienta (WAVIR)para determinar las mínimas de separación indicativa dependiente de las condiciones de viento cruzado.

- **La evaluación de la viabilidad operativa que se realizó dio como resultado:** la corrección, la facilidad de uso y la aceptabilidad del concepto operacional por los controladores ATC, los beneficios operacionales y las ganancias potenciales inducidas por la reducción de la separación variaron entre el 10% y 30% aumentando el rendimiento de la pista y entre el 10% y 40% reduciendo el retraso promedio por aeronaves; las ganancias reales dependen las de condiciones favorables de la meteorología, la presión del tráfico y la configuración del aeropuerto. El impacto en los sistemas existentes (la aplicación de sensores atmosféricos como el radar meteorológico o LIDAR). Además Boeing y la FAA realizaron una serie de experimentos de prueba de vuelo para generar información detallada sobre el fenómeno de estela turbulenta. Mediante el uso de torres y el sondeo de la aeronave, que brindó las características de la turbulencia de la estela de un B747 y B707-320C. Estos datos los proporciona la base para las normas de separación de estela turbulenta adoptadas por la OACI/FAA. **En cuanto a las Prácticas y Propuestas estadísticas,** pese a que se han utilizado herramientas matemáticas para ajustar los modelos en los estudios del fenómeno de la turbulencia de la estela, los aspectos estadísticos siguen siendo muy limitados. Solamente las herramientas básicas parecen estar en uso. En el dominio no determinista, se han definido modelos probabilísticos para el estudio del comportamiento de la turbulencia de la estela. La Ciencia estadística desarrollo una importante y precisa tecnología útil para la comprensión de la parte de riesgo relacionado con la turbulencia de la estela:

**El modelo de regresión** que tiene por objeto la predicción de una variable o vector aleatorio, como la energía de la turbulencia, con 1 o más variables, tales como las variables de tiempo, las características de la aeronave, el tiempo y la posición espacial (posiciones longitudinales, laterales y de altitud). La relación entre y las variables aleatorias predictivas y las pronosticadas pueden ser lineales o no. Por lo tanto, un modelo de regresión puede ser considerado para describir el transporte de la estela turbulenta o la pérdida de la energía a partir de los datos LIDAR. El modelo de regresión se puede expresar como:

$$Y = F(X_1, X_2, \dots, X_p) + \varepsilon \quad (1)$$

Donde Y= es la variable aleatoria pronosticada (dependiente-endógena), y siendo las variables X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, ... X<sub>p</sub> = las variables aleatorias predictoras (independientes-exógenas), ε = error , y F= la función que describe la relación a ser estimada por los datos de LIDAR. Dependiendo de la forma del modelo, los métodos de estimación paramétricos o no tienen que ser

utilizados. Las Versiones funcionales del modelo describen, las trayectorias de los trazadores de polvo a lo largo del tiempo de las funciones de los datos del clima y las características de la aeronave. Y observamos como la función aleatoria dando las trayectorias de los trazadores de polvo mientras  $X_1, X_2, \dots, X_p$  son entradas de la función al azar que describen las condiciones meteorológicas y las características de la aeronave. En cuanto a la descripción de la fuerza y la pérdida de las turbulencias de la estela, la predicción de encuentros con estela turbulenta de la aeronave o de las alertas potenciales se puede hacer utilizando el modelo de regresión. Desde los datos LIDAR, se puede estimar la probabilidad de encuentros con estelas turbulentas con las técnicas de un modelo de regresión. Con los análisis vinculados a la tecnología de modelado y los indicadores probabilísticos relacionados con la fuerza, la pérdida y el encuentro de la estela turbulenta se puede ayudar a los controladores de tráfico a definir la secuenciación y espaciado de aeronaves. La disipación de la estela turbulenta depende en gran medida de las condiciones meteorológicas. Una configuración topológica del clima puede ayudar a desarrollar modelos robustos para describir numéricamente el comportamiento y la pérdida de la turbulencia de la estela.

## 7. IMPACTO DEL RUIDO

Existen 2 posibilidades para la determinación del nivel de ruido de una aeronave: la medición y la modelización. **La Medición** implica la localización de diversos micrófonos costosos colocados en varios lugares alrededor del aeropuerto y su vinculación con los datos del radar, o hub del ruido de los aeropuertos y el sistemas de monitoreo, para las mediciones precisas del ruido de los aviones que vuelan por encima de la terminal. Se utilizan para el control de niveles del ruido residencial y para asegurar que las aeronaves mantengan las trayectorias de vuelo designadas. En general, los mapas del ancho del ruido de un aeropuerto se producen por modelos de ruido. Y el **Modelado** del ruido del aeropuerto es definido por diversos documentos de orientación aceptados internacionalmente, el más reciente es el doc.29R de (CEAC). Este será utilizado como la base para la actualizando la Circular 205 de la (OACI). Con éste material de orientación se realizó un software de modelado de ruido. El principal software disponible de modelos de ruido es el de la (FAA), llamado Modelo de Ruido Integrado (INM), que utiliza datos de las aeronaves del aeropuerto y una base de datos del ruido de los aviones y los datos de rendimiento, junto con los perfiles de vuelo (altura, velocidad y empuje) y datos de tierra (arribos y partidas) para producir mapas de análisis de ruido que muestran contornos isométricos de diferentes niveles de exposición del ruido. Estos mapas no brindan una suficiente precisión para el cálculo real del valor de la producción de ruido de una aeronave, ni permite tener en cuenta los esfuerzos de reducciones del ruido realizados por las líneas aéreas al volar. Basado en el INM, la CEE desarrolló la modelización de la armonización del medio ambiente del ruido producido por las aeronaves europeas (ENHANCE), que calcula los entornos de exposición al ruido alrededor de los aeropuertos, generado por el tráfico de aeronaves real o simulada. La ventaja de (ENHANCE) es que utiliza los perfiles de vuelo, reales o simulados, mientras que el INM funciona con perfiles predefinidos proporcionados por (ENHANCE) que añade un pre-procesador de datos para convertir perfiles reales y simulados en formato INM. Entonces INM calcula los entornos de ruido. Los datos de entrada son los perfiles de vuelo 4D, y es posible utilizar los datos o salidas del radar grabados de otros simuladores, como TAAM o ESCAPE. De los perfiles 4D (ENHANCE) calcula la velocidad del perfil e INM determina el ruido a partir de los gráficos de ruido proporcionados por los fabricantes de las aeronaves. En la actualidad, el aeropuerto de Gatwick creó un contorno de ruido de 45 mppa y lo extendió por más de 15 kilómetros a lo largo de la pista central. Esto dio como resultado al aeropuerto la oportunidad de aumentar la cantidad de hogares (de 1187 a 2047) y el área dentro del contorno de 26 km<sup>2</sup> a 43 km<sup>2</sup>, además de incluir 12 comunidades de edificios sensibles al ruido. Éste esquema y generoso e innovador.

## 8- CONCLUSIONES

La evaluación inicial de los beneficios y límites del método propuesto indica que resulta ser muy positivo ya que las actividades de control de tráfico aéreo se pueden realizar cómodamente, en forma segura, precisa y ordenada, incluso con un alto flujo de tráfico aéreo. Desde el punto de vista del controlador, en comparación con el sistema actual, con la utilización del Planeador de e Coach, se obtiene una reducción de su carga de trabajo y de instrucciones, una mayor previsibilidad y capacidad de anticipación, con una clara repartición de tareas y una mejor comunicación entre los controladores. El método es totalmente factible incluso bajo condiciones de vientos fuertes. Asimismo por sus condiciones intrínsecas produce una menor contaminación ambiental. En síntesis este proyecto permitirá que nuestro país cuente con un nuevo sistema de gestión que tiene ventajas significativas respecto del actualmente utilizado, el cual, una vez implementado, permitirá que tráfico aéreo sea más seguro, menos contaminante y capaz de afrontar un flujo mucho mayor al actual.

## 9. ACRÓNIMOS

ACC	Centro de Control del Área	FPL	Plan de vuelo
A-CDA	Aproximación de descenso continuo avanzada	HMI	Interface Hombre-Maquina
AIP	Publicación de la Información Aeronáutica	IAF	Aproximación inicial fija
AMAN	Sistema de gestión de arribos	ILS	Sist de aterrizaje por instrumentos
APP	Centro de aproximación /Control	LNAV	Navegación aérea Lateral
ANSP	Proveedor de servicios de navegación aérea	ND	Pantalla de navegación (cabina)
ASAS	Sistema de asistencia de separación aérea	PMS	Sistema de Point Merge
ATM	Gestión del tráfico aéreo	P-RNAV	Navegación de área de precisión
ATC	Control del tráfico aéreo	RNAV	Navegación de área
CDA	Aproximación en descenso continuo	S.LEG	Secuenciación de la fase
CEAC	Conferencia Europea de Aviación Civil	SID	Instrumental de partidas estándar
E-TMA	Extensión de la TMA	STAR	Ruta de arribo estándar
FAF	Aproximación final fija	TMA	Área de Control Terminal
FMS	Sistema de gestión de vuelo	TOD	Tope de descenso
FL	Nivel de vuelo	TP	Predicción de la trayectoria
		VNAV	Navegación vertical
		WTC	Categoría de turbulencia de la estela

## 10- REFERENCIAS

- 1- Doc. OACI OACI 9573, Manual de Operaciones de Navegación de Área (RNAV), Primera edición.
- 2- Doc. OACI. 9689-AN / 953, Manual de planificación del espacio aéreo Metodología para la determinación para la separación Mínima entre aeronaves, Primera edición,
- 3- EUROCONTROL Material de Orientación para el diseño de procedimientos de la navegación de área para las terminales Y LA guía para la Aprobación de la información de P-RNAV, Edición 3ra
- 4- Integración de los Flujos de las aeronaves en el Área Terminal sin guía vectorial radar, L. Boursier, B.Favennec, E.Hoffman, A.Trzmiel, F.Vergne, K.Zeghal,
- 5- Simulación en Tiempo Real, Oslo avanzada Sectorización y Project Automation), AVINOR / EUROCONTROL Informe de validación, CEE Técnico / Científico Informe No. 2010-002,
- 6- OSLO ASAP SIMULACIÓN CRDS Nota N ° 31 (29 de abril de 2008)
- 7- Fase de definición SESAR - entrega 4, la secuencia de implementación de ATM, DLM-0706-001-02-00, enero de 2008.