

La Vigilancia Dependiente Automática (ADS) (II)

ADS + SSR: un matrimonio perfecto

En la primera parte de la información sobre la ADS vimos, a grandes rasgos, en qué consiste este sistema, y su utilidad para el control y la navegación aérea. Veremos ahora que la integración de datos ADS y SSR (Secondary Surveillance Radar) permitiría superar algunas de las limitaciones típicas de este último.

por David Díez Fernández

La idea de integrar datos SSR y ADS, con el propósito de mejorar la función de vigilancia, incrementar el nivel de disponibilidad de ésta, y controlar la integridad del sistema de navegación utilizado por la aeronave, fue presentada por España al Comité FANS durante su reunión FANS II/2, que tuvo lugar en Montreal del 29 de abril al 17 de mayo de 1991. La idea fue apoyada por otros países, y el Comité acordó incluirla en el concepto FANS, actualmente denominado **sistemas CNS/ATM**, de la OACI.

Mejora de la función de vigilancia

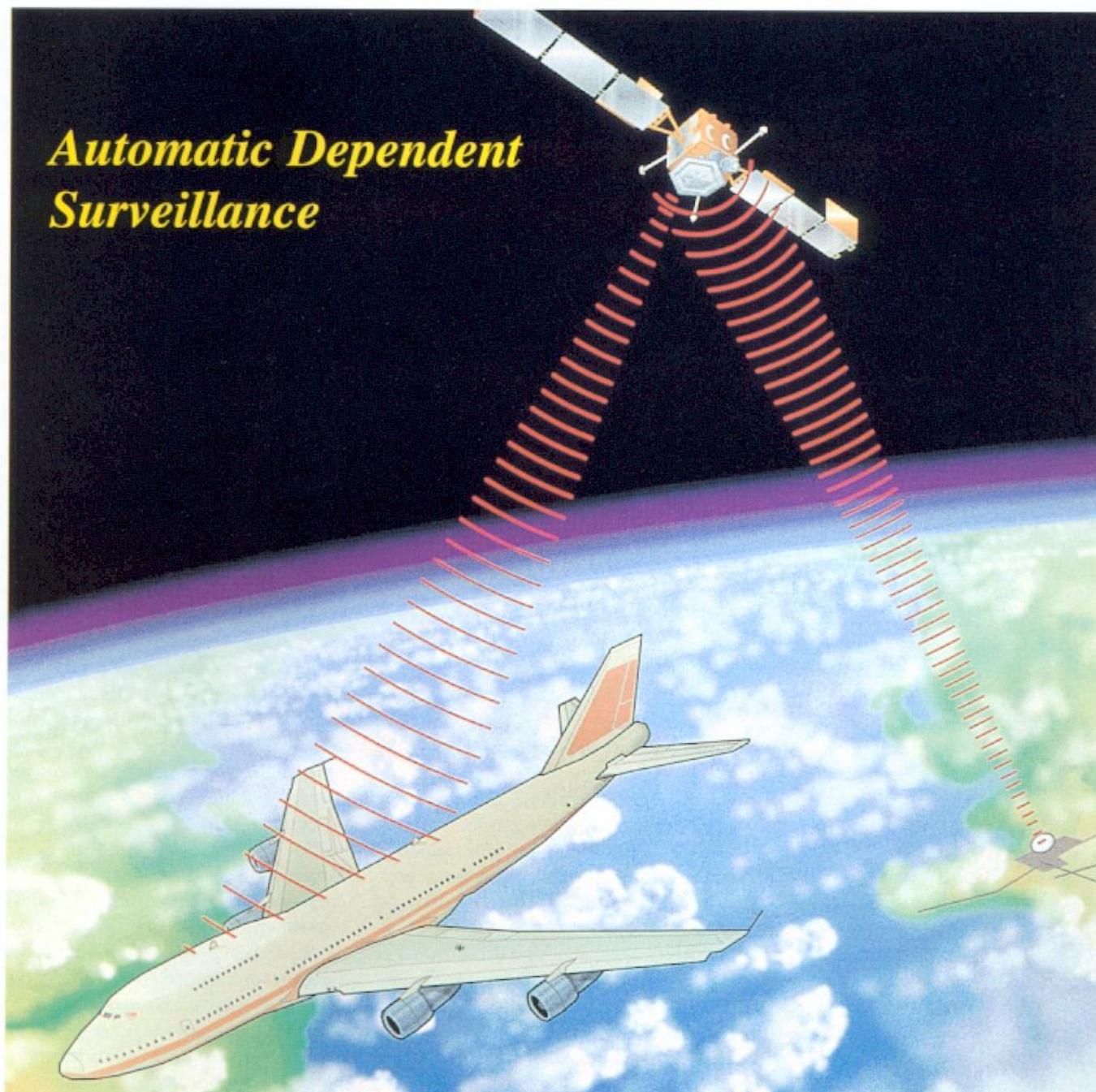
Una de las características del futuro sistema ATS es que mediante la continua aplicación de separaciones más próximas a la mínima, se podrá incrementar la densidad potencial de tráfico en el espacio aéreo. La frecuente operación de aeronaves a distancias muy próximas entre sí

requerirá incrementar la disponibilidad de datos de posición y actitud muy precisos.

La integración de datos SSR con datos ADS aportaría las siguientes mejoras a la función de vigilancia:

- ▶ permitiría al sistema ATC obtener automáticamente ciertos datos de a bordo tales como rumbo, derrota, velocidad, etc., que mejorarían el seguimiento en tierra de las aeronaves, especialmente en maniobras, garantizando así que el nivel requerido de seguridad se mantendría cuando se aplicasen separaciones mínimas más reducidas;
- ▶ la codificación de los datos de altitud en incrementos de 8 pies, y la disponibilidad de la velocidad vertical, tal como la suministra la ADS, mejorarían la capacidad del ATC para supervisar y hacer predicciones precisas de las trayectorias de las aeronaves en el plano vertical, aumentando la eficacia de la detección de conflictos a corto plazo (STCA) al reducir significativamente el número de falsas alarmas;

- ▶ cuando se utilice el enlace de datos vía satélite para la transmisión de los datos ADS, permitirá al sistema de tierra adquirir datos de vigilancia en áreas de baja altitud, y en otras, donde el radar, debido a sus limitaciones por propagación en línea de visión, es ciego; las pérdidas de datos de posición de la aeronave serán más críticas en áreas de alta densidad de tránsito, donde se aplicarán separaciones muy reducidas;
- ▶ cuando la aeronave utilice como sistema de navegación uno de alta precisión como, por ejemplo, el GPS, la integración de la ADS con el SSR en un mismo algoritmo de seguimiento podrá mejorar considerablemente la precisión del mismo;
- ▶ permitiría al algoritmo de seguimiento (*tracking*) utilizar datos ADS en lugar de datos radar cuando las respuestas SSR se solapen y se produzca *garbling* (el *garbling* síncrono es un problema muy serio que, además, puede



Automatic Dependent Surveillance

requerir de la intervención tanto del controlador como del piloto, al objeto de poder establecer la identificación correcta de la aeronave);

- permitiría que el régimen de renovación de los datos de vigilancia, actualmente condicionado por la velocidad de giro de la antena mecánica radar, pudiese adaptarse selectivamente a cada aeronave en base a las necesidades instantáneas del ATC, simplemente mediante la modificación del régimen de interrogación ADS; este

régimen podría ser controlado automáticamente por el mismo algoritmo de seguimiento (incrementando el régimen cuando la aeronave maniobra, o cuando se empiecen a producir pérdidas de datos radar y, por tanto, el factor de calidad de éstos disminuye, etc.), y por la función STCA (cuando se inicie un proceso de alerta de conflicto, etc);

- permitiría establecer prioridades en el orden de interrogación de las aeronaves, siempre que el enlace de datos

utilizado para soportar la función ADS no sea el de un radar Modo S con antena de barrido mecánico, sino un enlace omnidireccional;

- permitiría minimizar el número de radares SSR necesarios para suministrar cobertura monorradar, al rellenar con ADS las pequeñas zonas no cubiertas por ellos;
- permitiría al algoritmo de seguimiento utilizar datos de posición ADS cuando las aeronaves tengan problemas temporales con sus transpondedores SSR o

- se produzca el apantallamiento de sus antenas de a bordo durante maniobras;
- ▶ permitiría al sistema ATC obtener automáticamente el indicativo de las aeronaves, superando así los problemas actuales relacionados con la correlación código-indicativo;
 - ▶ permitiría al algoritmo de seguimiento adaptar el grado de redundancia de la vigilancia para cada aeronave a las necesidades del ATC en cada instante, y así, proporcionar redundancia con una buena relación coste/beneficio; y
 - ▶ permitiría a un algoritmo de seguimiento de pistas específicamente diseñado para tal propósito controlar la función ADS y adaptarla en tiempo real (contenido de los mensajes ADS y su periodicidad) a sus necesidades para cada aeronave. Esto permitiría minimizar el número de transacciones ADS necesarias para mantener una precisión determinada.

Podemos concluir que la integración de datos ADS con SSR permitiría superar las limitaciones típicas del SSR y de los algoritmos de seguimiento convencionales, mejorando la disponibilidad e, incluso, en muchos casos, la precisión.

Incremento del nivel de disponibilidad de la vigilancia

Las reducciones en la separación mínima y la aplicación de ciertos tipos de control táctico, requieren de la función de vigilancia un alto grado de disponibilidad (redundancia), ya que los fallos del sistema radar serán mucho más críticos.

Al objeto de suministrar el nivel de disponibilidad de vigilancia requerido, deberá mantenerse el nivel adecuado de redundancia mediante la utilización de sistemas lo más diversificados posible, ya que la diversidad en cuanto a tipo de sistema minimiza riesgos. La utilización de ambos, SSR y ADS, aporta esta diversidad.

También, el grado de redundancia y duplicación en el suministro de la función de vigilancia, deberá mantenerse en un mínimo consecuente con la eficacia operacional y la seguridad. La ADS satélite permite que el grado de redundancia de la vigilancia pueda adaptarse para cada aeronave en base a las necesidades del

ATC en cada instante y, así, suministrar redundancia con una relación coste/beneficio muy buena.

Control de la integridad de la navegación (CIN)

Están siendo investigados varios métodos de controlar la integridad del Sistema Mundial de Navegación por Satélite (GNSS). Controlar la integridad del sistema de navegación utilizado por las aeronaves es de vital importancia, especialmente en áreas de alta densidad de tránsito, donde es necesario aplicar separaciones muy reducidas, y donde, por tanto, las desviaciones consecuencia de un error de navegación podrían constituir un riesgo de colisión en muy corto espacio de tiempo.

La comparación cruzada de los datos de posición ADS de cada aeronave (derivados de sus sistema de navegación) con sus datos de posición determinados por el sistema de vigilancia radar ATC de tierra, permitiría al sistema de tierra detectar errores de navegación, de modo que, tanto el controlador de tránsito aéreo como el piloto, pudieran intervenir a tiempo, al objeto de evitar que estos errores aumentasen en tal proporción que pudieran constituir un riesgo de colisión.

Una de las ventajas de este método es que no solamente se pueden detectar errores debidos al mal funcionamiento del segmento espacial del GNSS, sino también los debidos al equipo de a bordo. Por supuesto, se pueden detectar errores debidos al mal funcionamiento de cualquier otro sistema de navegación (VOR, DME, INS, etc.) que esté siendo utilizado por la aeronave.

Otra ventaja de este método es que el intervalo de control (intervalo entre comparaciones cruzadas) puede ser selectivamente adaptado para cada aeronave en base a su posición relativa en un instante, determinado con respecto a otra posible aeronave conflictiva, o con respecto al terreno, o en base a la fase del vuelo, simplemente modificando su régimen de interrogación ADS. Algunas aeronaves no necesitarán ser verificadas con tanta frecuencia.

Bajo ciertas circunstancias, y en áreas donde la integridad del sistema de vigilancia SSR no pueda ser controlado por

métodos convencionales, como, por ejemplo, en áreas oceánicas próximas a la costa, la comparación cruzada de datos SSR con datos ADS puede también permitir el controlar la integridad del sistema SSR.

Estudio de integración ADS-SSR

Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea (Aena), como continuación al trabajo inicial presentado al Comité FANS, ha llevado a cabo un estudio detallado sobre integración ADS-SSR, en cooperación con CESELSA y la Universidad Politécnica de Madrid.

El estudio, que se completó en octubre de 1994, se divide en ocho tareas, que brevemente se describen a continuación:

Tarea 1:

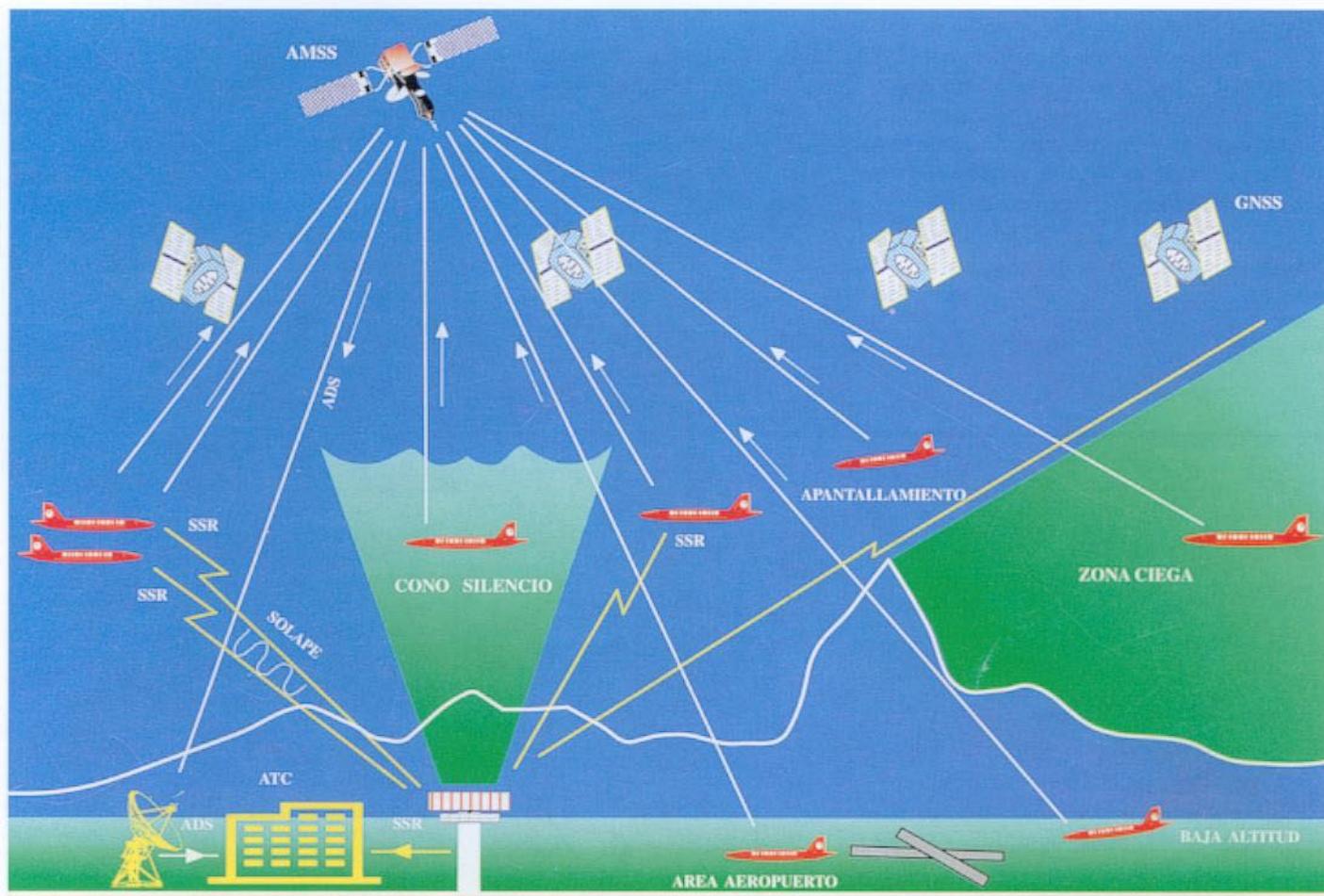
Análisis de las limitaciones del SSR

Se identifican las limitaciones de los sensores que afectan a la integridad, disponibilidad, precisión y eficacia de la función de vigilancia radar. Es fundamental conocer y analizar en profundidad las mencionadas limitaciones y su impacto sobre la función de vigilancia, con anterioridad a la búsqueda de soluciones para superarlas.

Tarea 2:

Análisis de los algoritmos actuales de seguimiento

Se analizan varios tipos de algoritmos de seguimiento de pistas mono y multi-radar convencionales que permiten minimizar o superar algunas de las limitaciones mencionadas anteriormente. Es importante conocer qué limitaciones no se superan, cuáles se minimizan y en qué grado, y también cuáles son las limitaciones propias de dichos algoritmos, al objeto de determinar qué problemas quedan aún sin resolver. Esta tarea permitía también familiarizarse con los citados algoritmos de cara a estar en perfectas condiciones para abordar las tareas 4 y 5, y estudiar si éstos podían ser aprovechables en el desarrollo de los nuevos algoritmos de seguimiento de pistas ADS y ADS-SSR, cuyo objetivo último es el superar las limitaciones no superadas hasta el momento.



La integración de la ADS con el SSR permitiría superar algunas de las limitaciones de éste último

Tarea 3:

Análisis de las aportaciones de la ADS

Permite familiarizarse con las características de la ADS y analizar su capacidad para superar las limitaciones identificadas anteriormente, tanto del SSR, como de los algoritmos convencionales.

Tarea 4:

Desarrollo de un algoritmo de seguimiento ADS adaptable

Haciendo uso de los conocimientos adquiridos, o perfeccionados durante la ejecución de las tres tareas anteriores, se desarrolló aquí un algoritmo de seguimiento de pistas ADS que adapta tanto el contenido de los mensajes ADS, como su periodicidad, a los requisitos de precisión establecidos para el mismo. Este tipo de algoritmo permite minimizar el número de transacciones ADS y, por tanto, conseguir una alta efectividad en cuanto a coste-beneficio se refiere.

Tarea 5:

Desarrollo de un algoritmo de seguimiento ADS-SSR adaptable

Se desarrolla un algoritmo que integra uno de seguimiento de pistas multi-radar con otro de seguimiento de pistas ADS del tipo del desarrollado en la tarea anterior. Este algoritmo de integración ADS-SSR permite superar en gran medida aquellas limitaciones del SSR que no se habían logrado superar con los métodos convencionales. El nuevo algoritmo controla y adapta, en tiempo real, la función ADS (contenido de los mensajes y su periodicidad) en base a requisitos de precisión y disponibilidad (*redundancia*) definidos para un área geográfica o situación determinada. Sólo se activará la función ADS cuando la información radar no sea suficiente o adecuada para satisfacer los mencionados requisitos, por lo que el algoritmo consigue la máxima efectividad con el mínimo coste.

Tarea 6:

Demostración, evaluación y validación de algoritmos

El objetivo de esta tarea fue demostrar, evaluar y validar los algoritmos diseñados en las tareas precedentes, utilizando para ello una plataforma que permitió realizar los ensayos en un entorno lo más aproximado posible a la realidad. Los datos utilizados, tanto ADS como SSR, fueron simulados.

Tarea 7:

Definición preliminar de características para un sistema ATC con integración ADS-SSR.

Se definen, dentro de esta tarea, ciertas características que se consideran necesarias o adecuadas para un sistema de ATC que contemple la integración ADS-SSR en un mismo algoritmo de seguimiento, así como la integración de la ADS con el tratamiento plan de vuelo

(TPV). La disponibilidad, a petición, de los dos siguientes puntos de notificación suministrados por la ADS, permitiría al sistema ATC realizar una comparación cruzada con los datos de plan de vuelo (TPV), con objeto de detectar errores debidos a la introducción incorrecta de puntos de notificación, por parte del piloto, antes de que una situación peligrosa se presente.

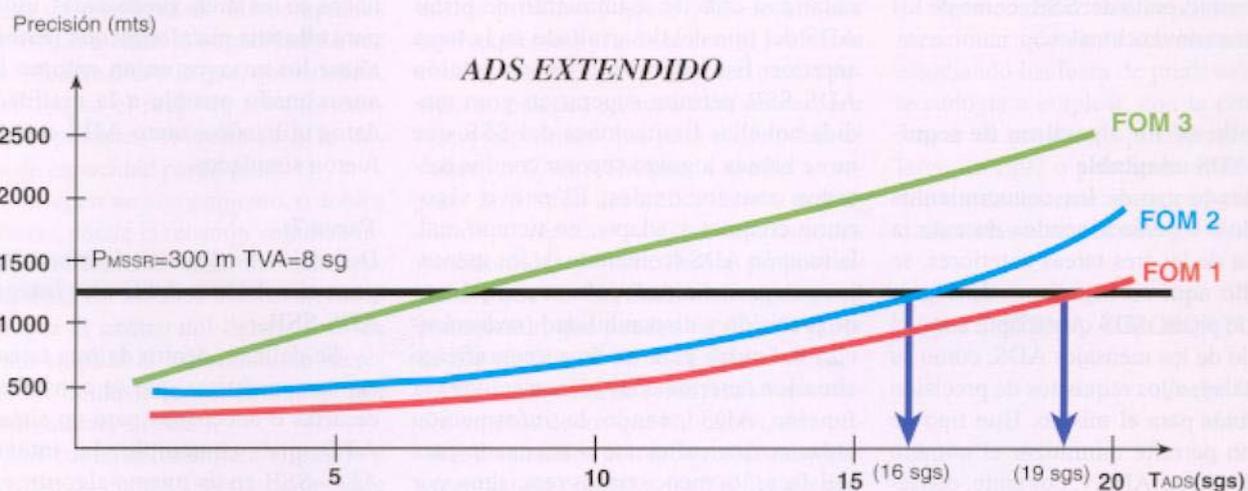
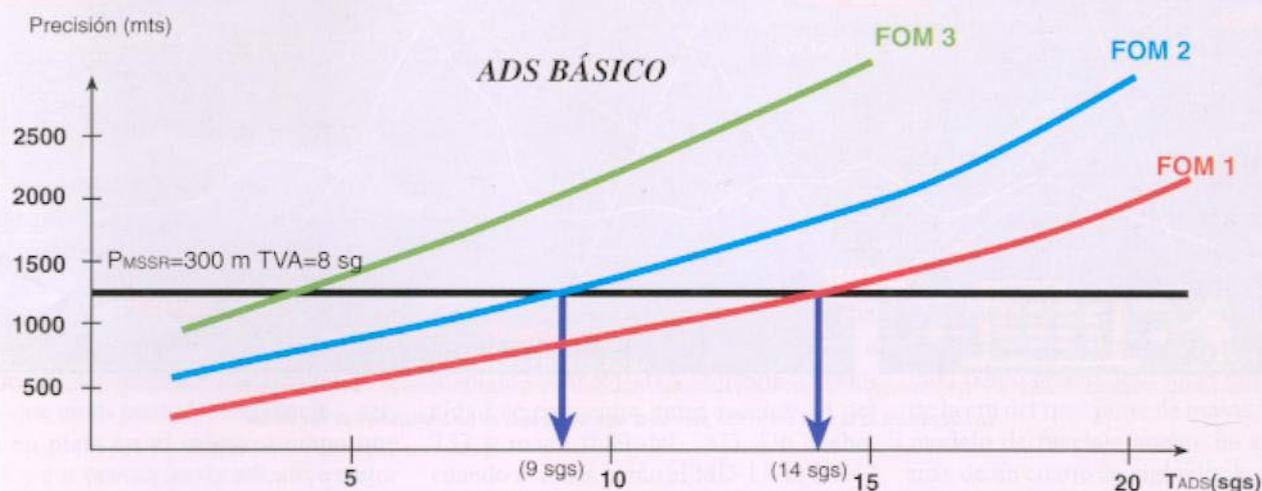
Tarea 8: Aportaciones de la ADS a nivel nacional

Dentro de esta tarea, se esbozan algunos de los principales beneficios que la ADS, por sí sola o integrada con el SSR, podría aportar en el territorio nacional.

Resultados preliminares del estudio fueron presentados a la Reunión Especial Regional Europea de Navegación Aérea, que tuvo lugar en Viena en septiembre de 1994. La reunión reconoció la potencialidad de la integración ADS-SSR para

mejorar la función de vigilancia, y estimó que debería considerarse su inclusión en el plan CNS/ATM para la Región Europea.

En la actualidad, la potencialidad de la integración ADS-SSR ha sido mundialmente reconocida, habiendo realizado Aena presentaciones sobre la misma en diferentes foros internacionales y seminarios CNS/ATM organizados por la OACI.



TAREAS PRINCIPALES DEL ESTUDIO

Tarea 4: Desarrollo de un algoritmo de seguimiento ADS adaptable

La característica más destacable del algoritmo ADS que se desarrolló durante la ejecución de esta tarea del estudio, es su capacidad para adaptar por él mismo los contratos ADS que se establecen con la aeronave a una determinada precisión requerida de pista. La precisión requerida de pista es un parámetro cuyo valor puede ser establecido por el operador del sistema para un área de control determinada (ruta, sector, TMA, etc).

Es evidente que la precisión de seguimiento (tracking) o precisión de pista que se puede conseguir con el algoritmo ADS desarrollado, dependerá de la precisión con que se determine la posición a bordo de la aeronave (FOM) y del ritmo ADS (intervalo entre mensajes ADS). La precisión de pista dependerá también de la demora de tránsito del enlace de datos utilizado -o tiempo transcurrido desde el momento de generación del mensaje ADS a bordo de la aeronave hasta su recepción en el sistema ATC de tierra, donde se realiza el tracking-. Cuanto mayor sea dicha demora, peor será la precisión de pista que podrá conseguirse. Es evidente que dicha demora dependerá de las características del enlace de datos utilizado. La demora típica del enlace de datos satélite (SMAS), utilizando un canal R a 600 bits/segundo es de, aproximadamente, 5 segundos. (Ver artículo titulado "El servicio móvil aeronáutico por satélite" ATC magazine n° 5, julio/septiembre 1995).

La información contenida en el mensaje ADS también afecta a la precisión de pista que se puede conseguir. Se obtendrá mejor precisión cuando el mensaje ADS, además del "Grupo ADS Básico", contenga también el "Grupo Respecto a Tierra", o sea, el vector velocidad.

El algoritmo de seguimiento (*tracking*) desarrollado es un algoritmo inteligente que tiene en cuenta todos estos parámetros y variables que afectan a la precisión. Al objeto de conseguir la precisión requerida, el algoritmo determina el tipo de contrato periódico más adecuado en cuanto a contenido y ritmo.

El tiempo entre mensajes ADS (T_{ADS}) o ritmo, se obtiene directamente de las curvas de prestaciones para un FOM determinado y una precisión requerida. En ocasiones, la precisión requerida puede conseguirse mediante mensajes ADS Básicos con un determinado ritmo, o mediante mensajes ADS Extendidos (ADS básico + velocidad), a un ritmo menor. En otras ocasiones, la precisión demandada no se puede conseguir más que con mensajes Extendidos. Naturalmente, un cambio de FOM (por ejemplo, la aeronave pasa a utilizar otro sistema de navegación menos preciso), o un cambio de precisión de pista requerida (por ejemplo, la aeronave entra en área terminal), obligaría al algoritmo a cambiar el contrato.

Las curvas de prestaciones anexas nos indican las precisiones que pueden conseguirse con el algoritmo desarrollado utilizando la información ADS, y las compara con las que conseguiría el mismo algoritmo utilizando la información proporcionada por un radar monopoluso con tiempo de vuelta de antena de 8 segundos. La demora de tránsito considerada para el enlace de datos del ADS es de 5 segundos. FOM1 se corresponde con una precisión en la determinación de la posición a bordo de la aeronave de 100 metros (0.05 NM), y es la normalmente proporcionada por el GPS sin necesidad de ninguna aumentación, tal como WAAS o LAAS. FOM2 se corresponde con una precisión de 450 metros (0.25 NM), congruente con la normalmente proporcionada por el LORAN-C. FOM3 se corresponde con una precisión de 1800 metros (1NM), congruente con la normalmente proporcionada por equipo RNAV actualizado por múltiples DMEs.

Como vemos por las curvas de prestaciones, para conseguir la misma precisión del radar monopoluso utilizando ADS basado en GPS (FOM1), soportado por el enlace de datos satélite del SMAS (demora de tránsito = 5 seg.), bastaría un mensaje ADS Básico cada 14 segundos, o un mensaje ADS Extendido (ADS Básico + velocidad) cada 19 segundos.

Tarea 5: Desarrollo de un algoritmo de seguimiento ADS-SSR adaptable

El algoritmo aquí desarrollado es un algoritmo multi-radar que, además, integra el algoritmo ADS desarrollado en la Tarea 4. El algoritmo activa un contrato ADS cuando lo estima necesario para complementar a la información radar. El algoritmo actúa en base a requisitos tanto de *precisión requerida* como de *redundancia requerida* (nivel de disponibilidad). Sólo activará la ADS cuando la precisión o redundancia requerida no pueda ser garantizada mediante el seguimiento multi-radar. En lo referente a la redundancia, por supuesto, la ADS sólo se activará cuando el número de radares operativos en un área determinada sea inferior al requerido para la citada

área; si el número de radares disponibles aumenta y se satisface dicho requerimiento, el contrato ADS se cancela, si no lo impide el requisito de precisión. Al objeto de poder definir los requisitos de precisión y disponibilidad (*redundancias*), el espacio aéreo se divide en cuadrículas. Nótese que la utilización de cuadrículas con indicación del número de radares normalmente disponibles permite activar la ADS con anterioridad a que una aeronave entre en una cuadrícula para la que el número de radares es inferior al requerido, y, por tanto, con anterioridad a que se empiecen a producir las pérdidas radar.