



Organización de Aviación Civil Internacional
Grupo Regional de Planificación y Ejecución CAR/SAM (GREPECAS)
**Decimoquinta Reunión del Grupo Regional de Planificación y Ejecución
CAR/SAM (GREPECAS/15)**
Río de Janeiro, Brasil, 13 – 17 octubre 2008

**Cuestión 2 del
Orden del Día:**

Actividades a nivel global e inter-regional

2.1 Actividades y coordinación CNS/ATM a nivel inter-regional e intra-regional

**CONSIDERACIONES SOBRE LA TOMA DE DECISIÓN EN LA IMPLANTACIÓN DE
AUMENTACIONES EN LAS REGIONES CAR/SAM**

(Presentada por España)

Resumen

Esta nota de estudio presenta información relacionada con las consideraciones que se hacen necesarias a la hora de tomar una decisión sobre la implantación de las diferentes aumentaciones (GBAS / SBAS / ABAS).

Referencias:

- Informe de la Reunión ATM/CNS/6

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Actualmente se dispone de diferentes elementos GNSS que suscitan la duda sobre cual instalar u operar en las diferentes fases de vuelo, y principalmente, en las fases de TMA, aproximación y aterrizaje. Como es lógico, esta decisión dependerá de múltiples factores, siendo el económico y el de seguridad operacional los principales a tener en cuenta.

1.2 En esta nota, se pretende realizar un análisis de la idoneidad de seleccionar una solución u otra en función de las aeronaves y movimientos en un aeropuerto dado.

2 ELEMENTOS GNSS

2.1 Bajo el concepto GNSS se engloban todos aquellos elementos que componen el sistema, y que van desde las constelaciones básicas a las aumentaciones. Cada solución lleva asociado un coste que se debe considerar a la hora de determinar la solución a escoger, y que impacta directamente en la rentabilidad de la solución escogida.

2.2 En estos momentos tan solo hay una constelación operativa, que es el GPS, que por si mismo da unas prestaciones suficientes para las operaciones en ruta, bajo el concepto de medio primario de

navegación, y que en la actualidad está evolucionando hacia la solución multifrecuencia, con L1, L5. Para un futuro a largo plazo, la aparición del GALILEO supondrá una redundancia de satélites que permitirá la operación en condiciones complejas y la visibilidad de un elevado número de satélites, lo que permitirá el empleo de ambas constelaciones como medio único de navegación en ruta.

2.3 Basándose en las constelaciones GNSS (GPS y GALILEO), en el receptor de a bordo se incorpora la función **RAIM**, que permita una monitorización de la integridad en tiempo real durante el vuelo y nos asegura que la información que usamos es correcta, lo que nos permite mantener una operación dada. Esto es válido para su uso en ruta (previa confirmación de disponibilidad de dicha función, para lo que es necesario correr una simulación que nos asegure que al menos tendremos 6 satélites a la vista durante una ruta dada); cuando esté GALILEO, este número de satélites siempre estará asegurado. Sin embargo, para operaciones TMA, de aproximación y aterrizaje, es necesaria una mayor integridad, por lo que es hay que recurrir a otras aumentaciones.

2.4 Continuando con las aumentaciones de abordó, se dispone del **ABAS**, es decir, monitorización de la integridad de forma autónoma con elementos de a bordo. Para ello, se dispone de unas soluciones híbridas, mediante el empleo de filtrados de Karman que hacen uso de otros sensores de abordó, principalmente el Baroaltímetro y de los inerciales, siendo estos últimos los que proporcionan una mayor fiabilidad en las operaciones, sobre todo cuando se combinan con el radioaltímetro, lo que proporciona una capacidad de aproximación en NPA y en casos de aviónicas altamente complejas, de APV I (aunque actualmente no es certificable).

2.5 Al objeto de poder dar una información de integridad que se adecue a los requisitos de aproximación y aterrizaje, y que estuviese disponible en amplias áreas, se diseñó el concepto **SBAS**, que permite cubrir zonas continentales con unas prestaciones más o menos homogéneas y que da capacidad de aterrizaje con guiado vertical en cualquier aeropuerto o campo de vuelo dentro de esa área, pudiendo llegar a la CAT I 200 ft. Este sistema se ve influenciado por elementos como la ionosfera, que pueden llegar a reducir de forma dramática sus prestaciones, si bien esto se puede minimizar en base a la óptima distribución de las estaciones terrenas y la utilización de algoritmos adecuados. El equipo de la aeronave es un receptor GPS con la adaptación necesaria para leer la información SBAS, y en el caso de disponer de ello, las adaptaciones de los FMS para poder dar el guiado vertical proporcionado por el sistema. A todo esto, hay que añadir la problemática que surge desde el punto de vista institucional, por cuanto la cobertura implica a varios Estados que deben alcanzar los acuerdos necesarios para dar el servicio en el espacio bajo su respectiva responsabilidad.

2.6 En el caso de centrarnos solo en el aterrizaje, se recurre a la aumentación local o **GBAS**, que en su actual estado de desarrollo permite operaciones de CAT I en cualquier pista del aeropuerto donde se instale, con una cobertura de 20 NM en un ángulo de 30° a cada lado del eje de la pista. Estas estaciones exigen el equipamiento de la aeronave con receptores GBAS (VDL + GPS) y su procesado de señales y presentación al piloto, con lo que hay que adaptar los FMS al efecto. En áreas ecuatoriales, la ionosfera también puede ser un problema en este tipo de aumentaciones.

2.7 Todos estos elementos, constelaciones bases, ABAS, SBAS y GBAS, nos proporcionan la oportunidad de elegir la solución más adecuada a cada caso. Pero ¿cuál es la mejor? o ¿cómo podemos tomar una decisión al respecto?

3. BÚSQUEDA DE LA MEJOR SOLUCIÓN

3.1 Evidentemente, la solución elegida es una cuestión que al final se centrará en aspectos económicos, es decir, de coste / beneficio, y no solo desde el punto de vista de los proveedores de servicio

de Navegación Aérea, sino de las compañías operadoras de las aeronaves. Para ello, se deberán tener en cuenta el coste de los equipos de tierra, espacio y de abordaje.

3.2 En el espacio aéreo hay un gran número de usuarios, que de forma genérica se pueden dividir en usuarios privados, corporativos, de tercer nivel, aviación regional, aeronaves grandes y helicópteros. Cada uno se ve supeditado a unas necesidades diferentes, y los equipos de a bordo que llevan son diversos y con impacto en costes muy distintos.

3.3 Normalmente, se habla del uso del ABAS como solución para poder cumplir las necesidades de la PBN y llegar incluso a aterrizajes con guiado vertical tipo APV I, pero ¿qué implica eso?. Bien, en primer lugar hay que analizar de qué se está hablando para llegar a esta situación; en la aeronave será necesario disponer de un equipamiento que cuente con GPS, Baroaltímetro, Radioaltímetro, inerciales y FMS. Evidentemente, si hablamos de grandes aviones de líneas aéreas (B 737, 747, 767, 777, 787, A320, 330, 340, 380, etc) su equipo estándar suele venir con estos elementos, ya que la repercusión en el coste final de la aeronave lo permite. Pero ¿qué ocurre cuando nos vamos a un avión regional?, aquí pensamos en un CRJ 200 o equivalentes en Embraer por ejemplo. Si queremos equipar una aeronave de este tipo con inerciales y los FMS preparados para operar junto a los GPS con una solución ABAS, el coste oscila entre 300.000 \$ y 400.000 \$, lo que hace que sea una opción muy cara con vistas a una flota completa y difícil de rentabilizar. Si hablamos de aviación corporativa, ligera o helicópteros, esta es una solución inviable. Por supuesto, siempre queda la solución RAIM con Baroaltímetro, pero esto solo nos deja en TMA. Es decir, desde el punto de vista de las aeronaves, esta solución es válida para grandes aviones, pero es cuestionable para el resto de usuarios por razones de precio. Ello no implica que los nuevos equipos de inerciales con anillos láser de pequeño tamaño y precio aquilatado, no se instalen como elementos de serie en las nuevas aeronaves, pero en las que ya están en vuelo, plantean un alto coste.

3.4 El siguiente elemento es el GBAS. Esta aumentación permitirá operaciones de CAT I (se prevé la certificación para el primer semestre del 2009), estando actualmente la FAA, AENA, la DFS y la CAA Australiana en el proceso de pruebas para la certificación de la primera estación (de Honeywell) en CAT I. Estas aumentaciones tienen la ventaja de dar servicio a todas las pistas del aeropuerto, por lo que no es necesario disponer una en cada cabecera como el ILS. Sin embargo, la instalación dependerá del número de operaciones, ya que una estación GBAS de nueva instalación (lo que comprende estudios previos, estudio topológico, obra civil, alimentación, comunicaciones, elementos auxiliares, casetas y la propia estación) puede costar en torno a 1.3 M\$ a 1.5 M\$, lo que hace que en aeropuertos con escasos movimientos, no esté asegurada la rentabilidad de esta solución. En las aeronaves, el equipamiento puede suponer en torno a los 50.000 / 80.000 \$ (si equipan FMS preparado para recibir la información del MMR). Es evidente que desde el punto de vista de las aeronaves es asumible, pero hay que analizar si lo es desde el punto de vista del aeropuerto.

3.5 Finalmente disponemos de la aumentación SBAS. Esta está siendo cuestionada desde su origen, si bien se han desarrollado tres (WAAS, EGNOS, MSAS), está en desarrollo el GAGAN y se está analizando la solución SACCSA y estudios similares para África y China. Actualmente, y en base a las prestaciones que se alcanzan, se está en el proceso de certificar una nueva CAT I 200 ft que se alcanzaría en cualquier aeródromo bajo el área de cobertura. En los planes de desarrollo, se sigue incidiendo sobre la aumentación en L1, no existiendo propuesta definitiva sobre la L5, frecuencia que se quedaría para mejorar la precisión (proceso cinemático L1/L5), o como alternativa a L1, lo que da mayor ancho de banda disponible en L1 para centrarse en la integridad y correcciones ionosféricas. La ventaja del SBAS, es que comparte las antenas del GPS y a nivel de receptor, los cambios son a nivel SW y firmware. En estos momentos se dispone de numerosos equipos de a bordo con SBAS (en lugar de GPS solo, ya que el incremento de costes es muy reducido), por lo que la aviación ligera, helicópteros, la aviación corporativa, de tercer nivel y regional pueden disponer de esta capacidad con costes relativamente bajos (actualmente, Universal, Honeywell y Collins ya ofertan este equipamiento en ciertas configuraciones de

aviones corporativos y regionales, y en opción para comerciales, así Rockwell Collins dispone de equipos FMS con WAAS en la serie Pro Line 21 y lo mismo ocurre con Universal Avionics) un ejemplo es el caso de la Rockwell Collins Pro Line Fusion, elegida por Embreair para sus MSJ (Midsize Jet) y MLJ (Midlight Jet) y que llevan la capacidad WAAS/LPV de serie o el caso de Bombardier que ha realizado la misma selección para su futura serie C con capacidad para 100 – 149 pasajeros (Honeywell tiene productos equivalentes en la serie Primus II). Dada la flexibilidad del sistema, se puede incorporar en algunos de los FMS actuales como upgrade de los GPS que ya incorporan, con lo que se dispone de capacidad LPV con un coste bajo y para ser usada en cualquier aeropuerto por cualquier usuario. Evidentemente, un SBAS es un sistema muy caro si se ve desde un punto de vista unitario (su coste puede rondar los 350 M\$, y anualmente la operación puede ascender a 25 M\$), pero si se tiene en cuenta que da cobertura a varios Estados, y a su vez da servicio a todos los aeropuertos, estos costes se reducen drásticamente (si a esto se suma que es un servicio que puede ser usado por cualquier usuario y en multitud de aplicaciones, el impacto se reduce aun más), además, el incremento de la seguridad operacional en aeropuertos que no disponen de ayudas y que por el número de operaciones hace inviable instalar un GBAS o un ILS, es muy elevado.

4. ¿Cuál es la mejor solución en las regiones CAR/SAM?

4.1 La respuesta a esta pregunta es compleja, ya que el espacio aéreo de las Regiones CAR/SAM es muy amplio y se ve afectado de diferentes formas por perturbaciones y distribución geográfica, y lo que es bueno para un área no lo es tanto para otro. No obstante, hay una serie de elementos a tener en cuenta a la hora de tomar una decisión.

4.2 En ambas regiones existe una gran cantidad de aeropuertos, pero son unos pocos los que tienen un tráfico elevado, existiendo un gran número de ellos con muy pocas operaciones, lo que hace que a la hora de implantar una infraestructura terrena (ILS o GBAS) no esté muy claro su rentabilidad. Además, los tiempos de reposición de los equipos existentes son muy amplios, lo que hace que los costes de mantenimiento se eleven de forma significativa.

4.3 Hay una gran densidad de ayudas terrenas, pero en muchos casos su ubicación es complicada, por lo que su mantenimiento es elevado e incluso la operatividad no es la óptima, lo que hace que la solución basada en satélites sea la más idónea en la mayoría de los casos.

4.4 Hay un gran número de aeronaves operando con diferentes configuraciones, pero además de las grandes aeronaves comerciales, el desarrollo de la aviación regional y corporativa, junto a los helicópteros, es una de las áreas en mayor expansión, lo que hace necesario el proporcionarles de elementos lo suficientemente atractivos para acelerar este proceso, que al final redundará en un menor coste para el usuario.

4.5 Esto hace que un horizonte de equipamiento GNSS, basándose en lo comentado en el punto anterior, incluya el uso de GBAS en aeropuertos con un elevado número de operaciones que permita rentabilizar la instalación de este equipamiento, pero no es tan claro que su uso sea rentable en aeropuertos con un bajo número de movimientos. Por ello, es necesario analizar el uso del SBAS como alternativa para cualquier aeropuerto o helipuerto, además de la flexibilidad que supone poder diseñar un procedimiento LPV en cualquier lugar sin necesidad de equipo de tierra, lo que mejorará de forma significativa las operaciones en pistas no preparadas y usadas por aeronaves de tercer nivel. A nivel del equipamiento de aeronaves, tan solo las grandes aeronaves comerciales podrán llegar a tener un equipamiento ABAS que les permita una autonomía en la navegación hasta APV I.

4.6 Es necesario buscar aquellos sistemas que den las máximas prestaciones con la menor inversión en equipamiento de aeronaves, y que se adecuen al tipo de operación de estas y los campos en que suelen

hacerlo. Además, estos sistemas deberán permitir operaciones más eficientes a las actuales, con menores consumos y rutas directas más cortas.

4.7 En parte de las regiones CAR/SAM existe la problemática de la ionosfera, la cual afecta por igual al uso del GPS, el GBAS y el SBAS con un nivel de impacto diferente por la concepción de cada elemento. En el caso del GBAS, el riesgo está en la pérdida de la señal de los satélites GPS, que afectaría por igual a la estación y al receptor de a bordo (en 20 NM se ven los mismos satélites con similar geometría), aunque dada la diferencia de elevación, esto se puede minimizar. En el caso del SBAS, el mayor riesgo está en la pérdida de la señal del GEO (que va en L1), lo que se puede mitigar disponiendo de dos o más GEOS, con diferente posición orbital y adecuadamente espaciados, con lo que los ángulos de visión son diferentes y el impacto del centelleo o anomalía ionosférica afectará de forma diferente a cada uno de estos GEOs a la vista. Al nivel de las señales del GPS y el establecimiento de correcciones, una de las formas de minimizar este riesgo; es mediante el diseño de algoritmos adecuados, optimización de la función de mapeo y el echo de que se dispone de una visión de un gran número de satélites GPS con diferentes ángulos, lo que permite minimizar los efectos ionosféricos, si bien hay que desarrollar algoritmos específicos para la región, habiéndose comprobado dentro del Proyecto RLA/03/902 SACCSA que esto es factible.

4.8 Es necesario completar una serie de estudios a nivel GBAS y SBAS en la región para ver el impacto que tendrá la ionosfera en ambas aumentaciones, en este sentido ya se han iniciado Programas GBAS en varios Estados y SACCSA, en su fase III tienen por objetivo comprobar la viabilidad de implantar algoritmos dedicados y adaptados a las características específicas de las Regiones CAR/SAM, estableciendo las recomendaciones necesarias para poder implantar un SBAS en dichas regiones, además de evaluar su impacto económico y su definición ante la disponibilidad de L1 y L5.

5. CONCLUSIÓN

5.1 En estos momentos es necesario terminar una serie de estudios y análisis para poder tener los suficientes elementos de juicio para la toma de decisiones finales sobre las aumentaciones a utilizar.

5.2 Se hace necesario que los Programas GBAS analicen el impacto ionosférico en las estaciones localizadas en áreas críticas y desarrollen un modelo de coste / beneficio para ver en que aeropuertos es rentable y en cuales no.

5.3 En el SBAS es necesario terminar los ensayos y análisis en curso y propuestos en la FASE III de SACCSA (RLA/03/902), donde se tendrán todos los elementos de juicio necesarios para la toma de decisión final en base a una serie de análisis y prototipo de algoritmos que hasta ahora no se han realizado en la región.

5.4 Hay que tener en cuenta que, por el momento, aunque se disponga de la doble frecuencia y la doble constelación, la necesidad de un sistema de monitorización externa de la integridad se hará necesaria para aproximaciones de precisión y con guiado vertical (quizás más allá del horizonte del 2020 se puedan diseñar receptores y algoritmos que permitan llegar a una nueva CAT I en base a una doble constelación y cuatro frecuencias civiles, pero por el momento esto es algo que está en el campo de la especulación y desarrollos preliminares, como es el caso del NIORAIM).

6. ACCIÓN PARA GREPECAS

6.1 Se invita a la reunión a:

1. Tomar nota de lo indicado en esta nota.

2. Fomentar los trabajos sobre GBAS y SBAS, analizando el impacto y coste de ambas aumentaciones y los problemas que efectos como la ionosfera pueden ocasionar sobre ambos, y considerando el Proyecto RLS/03/902 SACCSA como elemento necesario para la toma de decisión final sobre la estrategia GNSS en las regiones CAR/SAM
3. Apoyar los Proyectos Nacionales y Regionales en Curso, invitando a la participación más amplia y del mayor número de Estados e instituciones posible.
4. Recomendar la búsqueda de soluciones óptimas en base a criterios de seguridad operacional, coste/beneficio, necesidades de los proveedores de servicio, de los usuarios (compañías aéreas), usos por otros sectores que se pueden beneficiar de las altas prestaciones y niveles de integridad proporcionados por las aumentaciones e impacto institucional.
5. Recomendar que el solución adoptada, se tengan en cuenta no solo aspectos locales o específicos, sino que hay que considerar a todos los involucrados como un todo, y por tanto, considerar el equipo de a bordo, criterios de operación de vuelo, constelaciones usadas y aumentaciones utilizadas.

- FIN -