



**Cuestión 3 del
Orden del Día:**

**Marco de desempeño para la planificación e implantación de la
navegación aérea a nivel regional**

**3.1 Actividades a nivel global, inter-regional e intra-regional para los
sistemas de navegación aérea en las Regiones CAR/SAM**

**CONSIDERACIONES DE IMPLANTACIÓN DE ELEMENTOS DE NAVEGACIÓN CON VISTAS A
SOPORTAR LA PBN**

(Nota presentada por la España)

RESUMEN

Esta nota de estudio profundiza en el análisis realizado hasta el presente por el Subgrupo CNS/ATM sobre el uso del DME/DME para operaciones RNAV, la implantación de la PBN y los sistemas SBAS y GBAS. Con respecto a la utilización DME/DME para soportar operaciones RNAV, la nota indica que tiene un impacto directo a la hora de dimensionar la infraestructura terrena de dichos sistemas, en base a la precisión que se debe conseguir y los condicionantes geométricos para lograrla.

La implantación de la PBN deberá tomar en consideración todos los aspectos relativos a los sistemas de navegación que puedan impactar sobre la misma, en este sentido, los sistemas SBAS y GBAS permiten operaciones SoL, pero se ven afectados por los problemas ionosféricos. La combinación de ambos permitirá minimizar los mismos en los sistemas GBAS, responsables de operaciones en CAT I (y en el futuro CAT II/III), y minimizando el riesgo de caída de prestaciones en una zona determinada, disminuyendo la capacidad PBN sobre la misma.

Referencias:

- Anexo 10, Vol. I de la OACI
- Proyecto RLA/03/902 – SACCSA
- OACI Doc 7300/8
- OACI Anexo 11 (Rutas RNP. Anexo B)
- OACI Doc 9613, Manual RNP
- JAA TGL 10, Sección 4c
- NSP Navigation Infrastructure Assesment in Support of PBN
- Mapa de ruta de la navegación basada en la performance en las regiones CAR/SAM
- Manual PBN de OACI.Doc 9613.
- Performance based navigation manual volume I- concept and implementation guidance
- Informe de la Primera y Segunda Reunión del Subgrupo CNS/ATM, Lima, Marzo 2010 y México Nov. 2010

1. **Introducción**

1.1 La implantación del PBN lleva asociado un análisis de la infraestructura de radio ayudas terrestre, principalmente los DME, que impactará de forma significativa en los planes de los Estados respecto al despliegue de los mismos y los planes de inversión correspondientes. En esta Nota de Estudio, veremos algunas consideraciones a tener en cuenta y se analizarán posibles alternativas al respecto.

1.2 Por otro lado, actualmente existen dos aumentaciones para operaciones SoL. Una es el SBAS, que nos permite llegar hasta APV 200, y otra es el GBAS, que nos permite llegar a CAT I, y en el futuro, a CAT II/III. La combinación de ambas aumentaciones, permitiría disponer de un sistema robusto frente a perturbaciones ionosféricas, con avisos de la llegada de dichas perturbaciones y abriendo un tiempo suficiente para adaptar el tráfico y tomar las medidas oportunas para que el impacto sea mínimo. A estas aumentaciones habrá que sumar el RAIM para garantizar la integridad en ruta.

2. **Discusión**

Impacto del DME/DME para soporta la PBN

2.1 Los procedimientos RNAV deberían permitir el uso del GNSS, sin embargo, dado que hay aeronaves que no disponen de capacidad GNSS, o ante un fallo del mismo, se hace necesario disponer de una infraestructura alternativa en base al uso del DME/DEM o DME/DME/INS.

2.2 La Reunión CNS/ATM/SG/1 en su párrafo 4.61 *“tomó nota de la necesidad de establecer acciones necesarias para evaluar las coberturas DME de los Estados y determinar el número de nuevas instalaciones para dar cumplimiento a la implantación de procedimientos RNAV”*. Para realizar esta evaluación es necesario profundizar en el estudio del impacto de las coberturas DME / DME.

2.3 Dado que el GNSS en sus formas básicas (GPS, ABAS y el uso del RAIM) están disponibles a nivel global, no es necesario hacer aportaciones concretas en términos de infraestructura. Sin embargo, es necesario destacar que la responsabilidad de la provisión del servicio en base al GNSS recae sobre el Estado responsable del Espacio Aéreo, y en consecuencia, los Proveedores de Servicio de Navegación Aérea deberán asegurar que el nivel y calidad de servicio, así como el nivel de interferencias, es el adecuado para dar cumplido servicio dentro de los procedimientos planeados o autorizados. Esto se puede conseguir mediante diversos medios, tales como medidas de interferencias a bordo y/o en tierra (ver el Doc 9846 de OACI, Manual GNSS, Doc 8071 y el Anexo 10), o mediante aumentaciones al GPS, como el SBAS o GBAS.

2.4 Por otro lado, la red de ayudas terrenas puede dar soporte a operaciones RNAV en base al adecuado despliegue de estaciones DME, y que deberá cubrir el área del DOC (Designated Operational Coverage), que es el término que define las fronteras de cobertura de una ayuda a la navegación. En este sentido, deberemos tener en cuenta que debido a la implantación de la selección de los DME a usar en el RNAV, por parte del FMS, la instalación DME no se deberá usar si está a más de 160 NM o menos de 3 NM, con independencia del DOC publicado; además, si la elevación entre la estación y el avión es superior a 40 grados, también deberá ser excluida. Estos condicionantes tienen un impacto directo en la precisión que se obtienen en una operación DME/DME, así como a la hora de dimensionar la red de DME para dar las prestaciones RNAV

necesarias para implantar la PBN.

2.5 Evidentemente, estos aspectos impactan en la cobertura de los DME/DME y la precisión que darán los mismos. A la hora de determinar la precisión, debemos tener en cuenta que, mientras la precisión de un solo DME está de acuerdo a lo especificado en el Anexo 10, Vol. I de la OACI, cuando hablamos de la precisión obtenida del uso conjunto de dos o más DME, se deberá tener en cuenta los aspectos geométricos de acuerdo a lo indicado anteriormente. En este sentido, la precisión general del sistema para RNAV-1 (Error total del sistema, TSE) debe ser igual o menor a +/-1 NM durante el 95% del tiempo de vuelo. Esto incluye el error de navegación (NSE), el error de estimación de posición (PEE), así como el error técnico de vuelo (FTE). El PEE se compone del error de la señal en el espacio y el error del receptor de abordó.

2.6 El primer nivel de precisión de posición es entre el FTE y el NSE, que en el caso de RNAV-1 es de 0.5 NM (95%) para el FTE, valor recomendado mientras se use el Director de Vuelo o el piloto automático, aunque es alcanzable en vuelo manual. Dado que el FTE y el NSE son tratados como errores independientes, el FTE proporciona un máximo admisible de NSE de ± 0.866 NM (95%), obtenido de la fórmula de la raíz de la suma de los cuadrados. Estos errores se tratarán como errores circulares y no se realizarán asignaciones de errores a lo largo de trayectorias longitudinales o trasversales.

2.7 Cuando analizamos la precisión que se obtiene del uso del DME/DME, podemos considerar que el NSE se puede dividir en dos partes, una que proviene del equipo de a bordo (interrogador) y la otra procedente del equipo de tierra (transpondedor), incluyendo los efectos de propagación de la señal en el espacio. Dado que se requiere un mínimo de dos DME para proporcionar RNAV, debiendo estar dentro de una geometría aceptable y con el alcance suficiente (160 NM – 3 NM), se usará la siguiente fórmula para determinar la precisión (manual PBN):

$$2\sigma_{DME/DME} \leq 2 \frac{\sqrt{(\sigma_{1,air}^2 + \sigma_{1,grd}^2) + (\sigma_{2,air}^2 + \sigma_{2,grd}^2)}}{\sin(\alpha)}$$

Donde:

$$\sigma_{SIS} = 0.05 \text{ NM}$$

σ_{air} es máximo (0.085 NM, 0.125 % de la distancia)

α debe estar entre 30° y 150°

2.8 Esta fórmula se usa para determinar si un determinado par de DME es capaz de soportar un procedimiento dado, evaluando los dos $2\sigma_{DME/DME}$ contra un NSE máximo de 0.866 NM.

2.9 Con los datos especificados hasta ahora, podemos realizar un análisis de la infraestructura necesaria para soportar un procedimiento RNAV dado en base al uso del DME/DME. Para ello, es aconsejable el uso de herramientas SW que nos permita agilizar los cálculos y tener en cuenta todas las variables y la combinación de estaciones. El proceso a seguir se puede dividir en seis puntos:

1. Obtención de los datos necesarios

2. Identificación de estaciones DME individuales que puedan ser usadas.
3. Establecimiento de los pares de DME a utilizar.
4. Identificación de elementos específicos.
5. Preparación y ejecución de la inspección en vuelo.
6. Finalización de los estudios implementación.

2.10 A la hora de determinar que DME se puede utilizar, será necesario disponer de una herramienta de modelado del terreno, al objeto de poder ver que DME estará en línea de vista a lo largo de cada punto dentro del volumen de servicio de un procedimiento dado, y en consecuencia, que pueda ser usado por un FMS (alcance menor de 160 NM y mayor de 3 NM con un ángulo inferior a 40 grados). Una vez que se tienen la lista de DME, hay que eliminar los que están acoplados a los ILS o aquellas que compartan canales. Con ello, se tendrá la lista final, y se procederá a buscar los pares.

2.11 Con la lista de DME obtenida, se procederá a la búsqueda de pares, en base a la definición de todas las combinaciones posibles dentro del volumen de servicio de un procedimiento dado. Para cada posible combinación de pares de DME, habrá que evaluar y calcular si se cumplen los requisitos angulares (dentro de 30 a 150 grados). A continuación, para cada par obtenido, hay que calcular el NSE resultante, comprobando que cumplen los requisitos de precisión de ± 0.866 NM (95%).

2.12 Cuando se realizan estos análisis, se puede determinar el número de nuevos DME que será necesario incorporar, teniendo en cuenta un nuevo parámetro, que es hasta qué nivel de vuelo se quiere dar cobertura DME/DME. Con ello, se tendrá que realizar una evaluación de los costes de la implantación de las nuevas instalaciones y del mantenimiento de la red resultante, con lo que habrá que ir a la realización del correspondiente estudio coste/beneficio.

2.13 Dentro de estas actividades, será necesario analizar un análisis paralelo para la implantación del RNAV mediante el uso del GNSS, al objeto de racionalizar los costes y optimizar las infraestructuras que dan servicio al espacio aéreo.

Impacto del SBAS Y GBAS en la implementación del GNSS

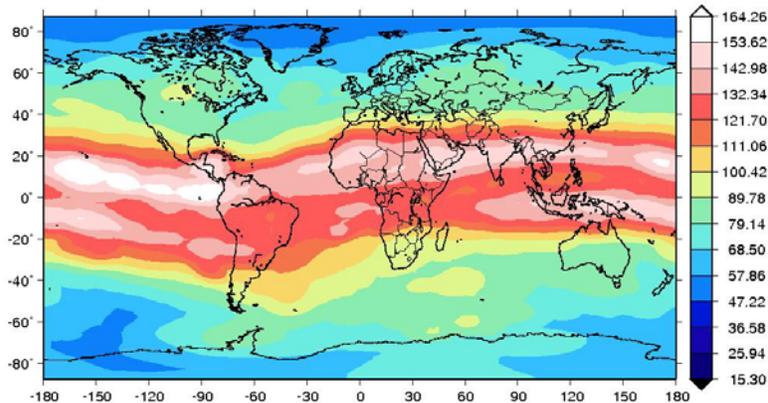
2.14 La implantación de los sistemas GNSS, implica usar y combinar todos los elementos que conforman el mismo, y que, partiendo de la constelación de referencia GPS y/o otras constelaciones de satélites, va añadiendo aumentaciones y funcionalidades que la complementan y permiten llegar a conseguir los requisitos de OACI. Por ello, se va añadiendo la función RAIM de los receptores de a bordo y las aumentaciones ABAS, SBAS y GBAS.

2.15 En este sentido, el mapa de ruta de implantación de la PBN en las regiones CAR/SAM, cita ambas aumentaciones como ejemplo de sistemas de Navegación aérea que soporten la implementación de la PBN. Este aspecto viene refrendado por el Manual PBN Doc. 9613, que especifica que la integridad deberá ser dada por los SBAS o RAIM (los operadores están obligados a comprobar la disponibilidad de la señal RAIM en caso de fallo o no cobertura SBAS). Así mismo, dicho manual especifica el uso de GBAS y/o SBAS para precisiones mejores a las del GPS y en torno a los 2 m.

2.16 Todas estas aumentaciones van encaminadas a conseguir uno de los parámetros más

importantes en la definición de sistemas SoL: la **INTEGRIDAD** del sistema, y sin la cual, difícilmente se podrá certificar a nivel aeronáutico para operaciones de precisión.

2.17 Sin embargo, dependiendo de las latitudes en que volemós, esto es más o menos sencillo (o difícil, según se mire), y en el caso que nos ocupa, en donde hablamos de las regiones CAR/SAM, la situación se complica de forma importante por los efectos de la Ionosfera en gran parte de ambas regiones (principalmente en la zona entre 20° N y 20° S a partir del ecuador geomagnético).



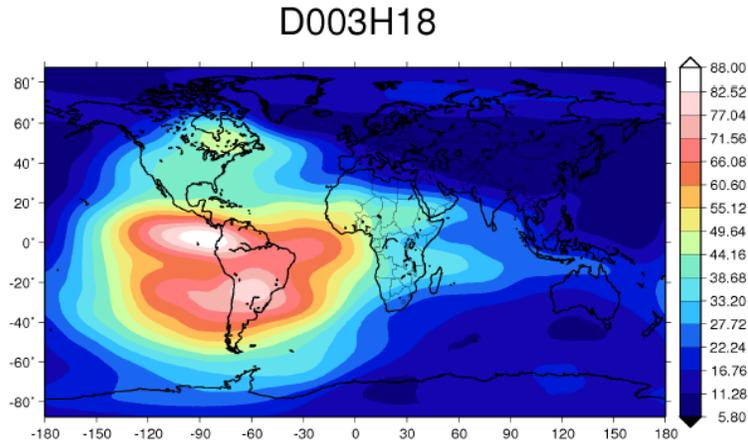
2.18 Actualmente ambas regiones están inmersas en Programas de desarrollo/implantación de sistemas SBAS (Proyecto Regional) y GBAS (Proyectos nacionales). Ambos sistemas tienen por objetivo una mejora de las prestaciones del GPS y una garantía de la integridad, uno (el SBAS) a nivel regional y con unas prestaciones que llegan APV 200, y el otro (el GBAS) con una cobertura local y unas prestaciones que inicialmente llegan a CAT I pero que están evolucionando para llegar a CAT II/III.

2.19 Sin embargo, ambos sistemas se ven aquejados del mismo problema: **la ionosfera**. Este problema tiene diferentes efectos, pero van desde una ligera interferencia en la recepción de la señal L1, a pérdida de dicha señal o retrasos de código, lo que altera de forma significativa las prestaciones, con lo que ambos sistemas tan solo pueden lanzar un mensaje de activación de banderas y dejar de proporcionar el servicio para el que han sido diseñados.

2.20 Los sistemas SBAS permiten operaciones en ruta, área terminal, aproximación y aterrizaje hasta APV 200, lo que lo hace especialmente indicado para aeropuertos con escaso tráfico donde un GBAS no sería rentable, o aquellos que por su configuración orográfica pueden plantear problemas a la instalación del GBAS. Por el contrario, los sistemas GBAS son los adecuados para aeropuertos de tráfico elevado y que exigen operaciones CAT I o superior.

2.21 A la hora de determinar los efectos ionosféricos, la forma de trabajar es totalmente diferente, ya que el SBAS se basa en una red de estaciones de referencia que le permite detectar la llegada de una perturbación y seguirla en toda su trayectoria (las perturbaciones vienen de Este a Oeste, y en el caso de las burbujas tienen una dimensión aproximadas de 1000 KM N/S por 100 KM E/O). En el caso del GBAS, se basa en una detección local, en base a las cuatro antenas de la

estación, lo que le permite detectar la perturbación pero de preverla, ya que se carece de “monitorización de campo lejano”, cuando se detecta, y si los efectos son graves, se activan banderas y se interrumpe la operación de aterrizaje de precisión.



2.22 Esto hace que ambos sistemas funcionen adecuadamente, pero no es lo mismo saber que va a existir un problema dentro de un tiempo determinado, que tener que “sufrir” el problema de forma instantánea. La diferencia es que si sabemos que vamos a tener este problema, podemos ajustar el tráfico y prever las operaciones para cuando llegue, mientras que si nos lo encontramos de repente es como cuando se cae un ILS de forma repentina, solo que en este caso, afectando a varias pistas a la vez (recordemos que un GBAS puede dar servicio a varias pistas).

2.23 En este sentido, hay que diferenciar el tratamiento de la Ionosfera en un GBAS y en un SBAS. En un SBAS lo que hace el centro de procesamiento es calcular unas correcciones y una integridad asociada. En GBAS lo que se asume es que la iono no cambia “mucho” entre la estación de referencia y el usuario y para dar integridad lo que se asume es un comportamiento estadístico a ese cambio (gradientes ionosféricos). Lo de GBAS es completamente válido en una ionosfera media ya que nominalmente la iono se comporta bien y la probabilidad de que se comporte “mal” es pequeña. Para ello, el GBAS lo que se está haciendo es asumir un gradiente (o equivalente) máximo que pueda ocurrir para asegurar la integridad. Esto supone una pérdida de disponibilidad en el sentido que no se utiliza una estimación del gradiente digamos en Tiempo Real sino que se utiliza un modelo de la Universidad de Stamford (modelo de amenaza ionosférica) es decir, lo que hace es poner un máximo al gradiente de ionosfera. En las Regiones CAR/SAM, esto podría ser válido para Cat I donde hay cierto margen de prestaciones y se pueden utilizar, por decirlo de algún modo, valores máximos. En este sentido, sería fundamental que hubiese un estudio, a poder ser independiente, para ver si realmente se puede utilizar el modelo en la zona en cuestión (actualmente AENA está realizando un estudio de este tipo para las Islas Canarias). Este estudio se debería hacer con varias estaciones en el entorno de cada estación GBAS (separación aproximada de 50km) durante un periodo largo que incluya un máximo solar. Sin embargo, en el caso de CAT II/III ya a priori no es válido utilizar ese modelo de “máximos” ya que no parece que haya margen de disponibilidad para ello, y es aquí donde se ve más claro el uso de un SBAS (o un monitorizador de iono en Tiempo Real) para la monitorización de la Ionosfera

2.24 ¿Cómo se puede solucionar esto?. Si se dispone de un sistema SBAS, se puede saber que está ocurriendo a cientos de kilómetros al Este de nuestro aeropuerto, ya que, gracias a la red de estaciones de referencia, monitorizamos amplias zonas (toda una región). Ello nos permite saber cuándo nos va a llegar una perturbación ionosférica con antelación suficiente como para tomar medidas paliativas que mitiguen su impacto en el tráfico. Evidentemente, cuando llegue a nuestro aeropuerto, estas perturbaciones afectarán al GBAS, pero dado que estábamos avisados de la llegada de las mismas, nos habrá dado tiempo a tomar las medidas oportunas (por ejemplo, aviso a las aeronaves que en un periodo horario se cancelarán las operaciones de precisión y se quedarán en NPA u operaciones con BaroVnav), con lo que podremos estructurar el espacio aéreo alrededor del aeropuerto en base a estas operaciones, evitando situaciones de colapsos.

2.25 Es por ello, se recomienda que en los diferentes Proyectos GNSS que actualmente están en curso en las Regiones CAR/SAM, sería conveniente tener en cuenta la iteración del SBAS y el GBAS, de forma que se puedan considerar el impacto de uno sobre el otro al objeto de buscar la solución óptima y que permita garantizar el mayor nivel de servicio ante cualquier circunstancia. En este sentido hay que aclarar que en el caso de decidir que los efectos ionosféricos son un impedimento para implantar una determinada aumentación, estos son más graves sobre los GBAS que sobre los SBAS, por lo que una conclusión en este sentido afectaría de una forma más importante a los planes de implantación GBAS que a los de implantación SBAS. Esto hace que cualquier afirmación o decisión al respecto, deba ser analizada y meditada en profundidad.

2.26 La Reunión CNS/ATM/SG/1, en su párrafo 4.62 *“notó que la utilización de capacidad del SBAS de monitorización de área amplia o regional puede alertar con suficiente antelación a los proveedores de servicio de navegación aérea sobre la proximidad y llegada de una perturbación ionosférica (especialmente en los casos del centelleo) que se desplazan desde del Este hacia el Oeste de un aeropuerto equipado con GBAS, de manera que contribuya a las autoridades a aplicar las medidas correspondientes y oportunas para mitigar estas afectaciones que se producen al GBAS al llegar a la correspondiente zona de la ionosfera local de este sistema, interrumpiendo su servicio. El aprovechamiento de esta capacidad del SBAS contribuiría a establecer criterios operacionales sobre el GBAS”*. Asimismo, en su párrafo 4.63 indicó que la *“Secretaría transmitirá este asunto al Panel de Sistemas de Navegación (NSP) de la OACI para su consideración”*.

Consideraciones sobre la implantación de la PBN

2.27 En los párrafos anteriores, hemos visto el impacto de la solución DME/DME sobre la infraestructura terrena, y que puede llegar a hacer inviable implantar la misma a gran escala, dado que se necesitaría de un elevado número de nuevas estaciones a un alto coste. Por otra parte, hemos visto que la solución GNSS, usando las aumentaciones SBAS y GBAS, pueden mitigar este aspecto, pero en el caso de las regiones CAR/SAM chocan con la problemática ionosférica, lo que implica tener que considerar este aspecto a la hora de definir una solución final.

2.28 A la hora de planificar la implantación de la PBN, se tendrá que tener en cuenta lo indicado a lo largo de esta NE, basándose en el nivel de prestaciones que se quiere alcanzar, niveles de vuelo a aplicar (no es lo mismo a partir de 280 que hasta PA, ni una RNP 5 o RNP 0.1). A esto habrá que añadir la realización del correspondiente coste/beneficio en función de las prestaciones a alcanzar, analizando las diferentes soluciones de sistema de navegación y buscando la mayor eficiencia posible.

3. **Acción por el GREPECAS**

3.1 Se invita al GREPECAS a,

- a) tomar nota de lo expuesto en la presente nota de Estudio;
- b) establecer las acciones necesarias para que puedan ser evaluadas las coberturas DME de los Estados, y determinar el número de nuevas instalaciones para dar cumplimiento a la implantación de procedimientos RNAV;
- c) orientar la realización de los correspondientes estudios coste/beneficio;
- d) analizar las alternativas de implementación regional del GNSS;
- e) incluir el estudio independiente de los modelos ionosféricos del GBAS para su uso en las Regiones CAR/SAM;
- f) analizar la implantación de la solución mostrada y orientar que se tengan en cuenta en sus planes nacionales GBAS y sus actividades en proyectos SBAS;
- g) valorar la participación en el Proyecto Regional SBAS (SACCSA en el caso de las Regiones CAR/SAM), junto a los Proyectos nacionales GBAS, al objeto de tener visibilidad sobre este tipo de soluciones; y
- h) tener en cuenta lo aquí indicado en la elaboración de los planes de implementación de la PBN.

– FIN –