



**Cuestión 4 del  
Orden del Día:**

**Revisión de los asuntos pendientes del ATM/CNS/SG, ATM/COMM, CNS/COMM y respectivos Grupos de Tarea, con el fin de tomarlos en consideración en el programa de trabajo del Subgrupo CNS/ATM**

**Análisis de la infraestructura de Navegación DME/DME para soportar la PBN**

(Nota presentada por España)

<b>RESUMEN</b>	
El uso del DME/DME para soportar operaciones RNAV 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.	
<b>Referencias:</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• OACI Doc 7300/8;</li><li>• OACI Anexo 11 (Rutas RNP, Anexo B);</li><li>• OACI Manual sobre la performance de navegación requerida (PBN) (Doc 9613);</li><li>• JAA TGL 10 sección 4c; y</li><li>• NSP Navigation Infrastructure Assesment in Support of PBN.</li></ul>	
<b>Objetivos estratégicos de la OACI:</b>	A – Seguridad operacional D - Eficiencia

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.

2. **Discusión**

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/DME o DME/DME/INS.

2.2 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.

2.3 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.

2.4 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 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.

2.5 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  $\pm 0.866$  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 transversales.

2.6 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):

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

Donde:

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

$\sigma_{air}$  es máximo (0.085 NM, 0.125 % de la distancia)  
 $\alpha$  debe estar entre 30° y 150°

2.7 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.

2.8 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:

- a) Obtención de los datos necesarios.
- b) Identificación de estaciones DME individuales que puedan ser usadas.
- c) Establecimiento de los pares de DME a utilizar.
- d) Identificación de elementos específicos.
- e) Preparación y ejecución de la inspección en vuelo.
- f) Finalización de los estudios implementación.

2.9 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 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.

2.10 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  $\pm 0.866$  NM (95%).

2.11 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.

2.12 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.

### 3. **Acción sugerida**

3.1 Se invita a los asistentes a:

- a) tomar nota de lo expuesto en la presente nota de estudio;
- b) Establecer las 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;

- c) Realizar los correspondientes estudios coste/beneficio; y
- d) Analizar alternativas GNSS.

- FIN -