



SAM/IG/5
NE/12
16/04/10

**Organización de Aviación Civil Internacional
Oficina Regional Sudamericana**

**QUINTO TALLER/REUNIÓN DEL GRUPO DE IMPLANTACIÓN SAM (SAM/IG/5)
PROYECTO REGIONAL RLA/06/901**

Lima, Perú, 10 al 14 de mayo de 2010

**Cuestión 3 del
Orden del Día:**

**Implantación de la navegación basada en la performance (PBN) en la
Región SAM**

Propuesta de revisión a los documentos 8168 y 9613 de la OACI en cuanto a la limitación al DME

Presentada por Juan Oswaldo Hernández

Resumen

Esta nota de estudio presenta una propuesta de revisión a los documentos 8168 y 9613 de la OACI en cuanto a la limitación al DME en ángulo de elevación por encima de 40° y en ángulo de inclusión menor de 30° y mayor de 150°.

Referencias:

- Documento 8168 Volumen II PANS-OPS
- Documento 9613 Manual de Navegación Basada en la Performance

1 Antecedentes

1.1 En varios documentos emitidos por la OACI y específicamente en los dos mencionados como referencia, se establece una limitante del uso del DME en ángulos de elevación por encima de los 40° y para el caso de la Navegación DME/DME limita el uso para ángulos de inclusión entre 30° y 150°. Este es un aparte del Documento 9613:

3.2.1.3 La infraestructura de ayudas para la navegación debería ser validada mediante modelos y la performance prevista debería ser evaluada y verificada adecuadamente mediante inspección en vuelo. En las evaluaciones se debería considerar la capacidad de la aeronave descrita en este capítulo. Por ejemplo, sólo se puede usar una señal DME si la aeronave está a una distancia de 3 NM y 160 NM de la instalación, a menos de 40 grados por encima del horizonte (vista desde la instalación) y si el ángulo de inclusión DME/DME está entre 30° y 150°. La evaluación de la infraestructura DME se simplifica cuando se usa una herramienta de selección que correlaciona con precisión la infraestructura de tierra y la performance de la aeronave, así como una representación precisa del terreno. El texto de orientación relativo a esta evaluación figura en los PANS-OPS (Doc 8168), Volumen II y en el *Manual sobre ensayo de radioayudas para la navegación* (Doc 8071).

2 Discusión

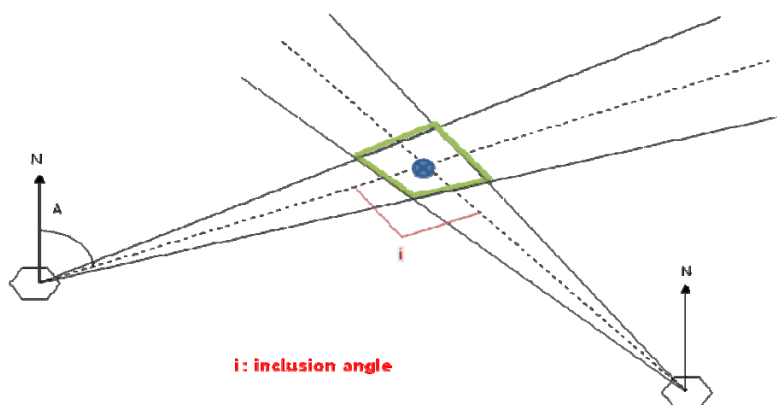
2.1 La limitante por ángulo de elevación mayor a 40° tiene sentido para disminuir el error por altura ya que el computador RNAV (usualmente el FMS) realiza la triangulación asumiendo no la distancia oblicua sino la distancia a nivel de terreno. Sin embargo este error puede aumentar significativamente cuando se triangula con dos DME que tienen diferente altura sobre el nivel del mar. En la zona de los andes este caso se puede presentar de manera frecuente ya que la topografía hace que tengamos estaciones DME a nivel del mar y otras a 10.000 pies sobre el nivel del mar.

2.2 Con respecto a la limitación por ángulo de inclusión de la Navegación DME/DME asumiendo que las dos estaciones DME se encuentran a la misma altitud, realizando los cálculos respectivos y las pruebas en vuelo no encuentro la razón de esta restricción por debajo de los 30° y por encima de los 150°. Esta restricción es completamente válida para la navegación VOR/VOR ya que el error del VOR es angular y efectivamente por debajo de los 30° y por encima de los 150° el error es tan grande que no sería tolerable ni siquiera para una especificación de navegación RNAV 5. Incluso cerca de los 0° y 180° la posición simplemente no se puede calcular. Pero este no es el caso del DME ya que el error no es dependiente del ángulo y en los sistemas DME actuales el error es casi independiente de la distancia entre aeronave y la estación en tierra.

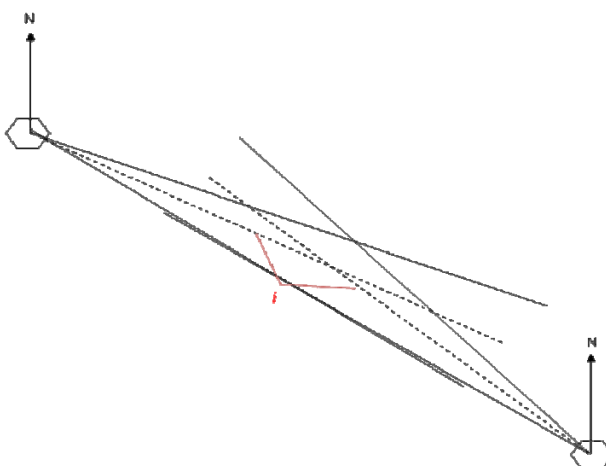
2.3 Aunque el principio de funcionamiento del DME es totalmente diferente al del GPS, el método de triangulación de estos dos sistemas es similar ya que se basan en la medida de distancias y determinación de la posición por la intersección de circunferencias. El GPS determina la distancia por sincronización de tiempos, es decir se asume que el reloj del transmisor (satélite) está sincronizado con el reloj del receptor y sencillamente se mide la diferencia en tiempo que tarda la señal desde el transmisor al receptor; se requiere un mínimo de 4 satélites para determinar la posición en el espacio (latitud, longitud y altitud). En el caso del DME se determina la distancia por interrogación y respuesta de un traspondedor abordo y uno en tierra, es decir es necesario un transmisor y un receptor abordo y un transmisor y un receptor en la estación en tierra, pero ya no son necesarios los relojes sincronizados; se requieren 3 DME para determinar la posición en el plano (latitud y longitud), aunque normalmente el FMS usa solamente 2 DME porque elimina la dualidad de la intersección de dos circunferencias con ayuda de otros sensores.

2.4 Teniendo en cuenta lo anterior, si se limita el uso del DME a ángulos de inclusión inferiores a 30° y superiores a 150° habría que hacer la misma limitación con los satélites del GPS es decir habría que limitar con un ángulo de enmascaramiento de 30° el uso de los satélites.

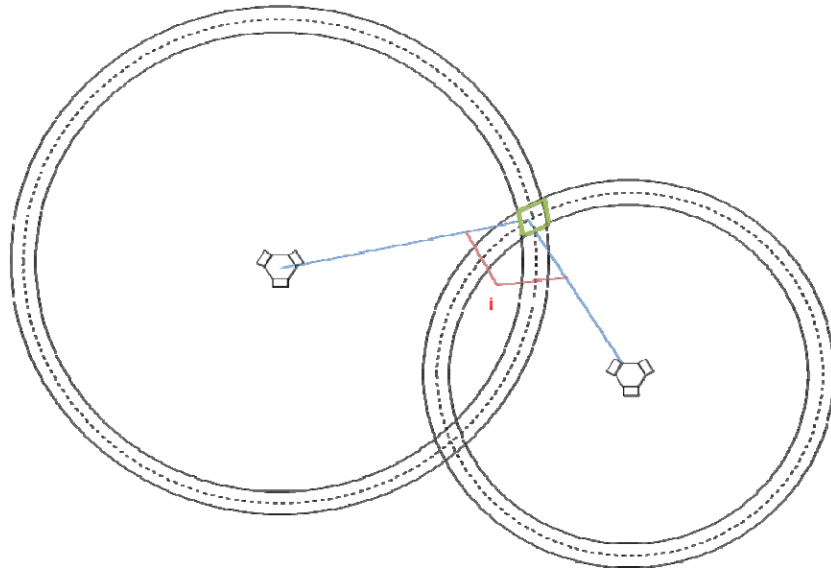
2.5 Se puede demostrar matemáticamente, pero aquí uso el método gráfico para explicar porque el ángulo de inclusión aplica al método VOR/VOR, mas no debería ser tan crítico en el caso del método de navegación DME/DME. En la siguiente grafica se puede observar el área de error alrededor del cruce de los dos radiales del VOR con un ángulo cercano a los 90°, donde con líneas punteadas se indican los radiales de los VOR y con línea continua el margen de error (nominalmente $\pm 2^\circ$).



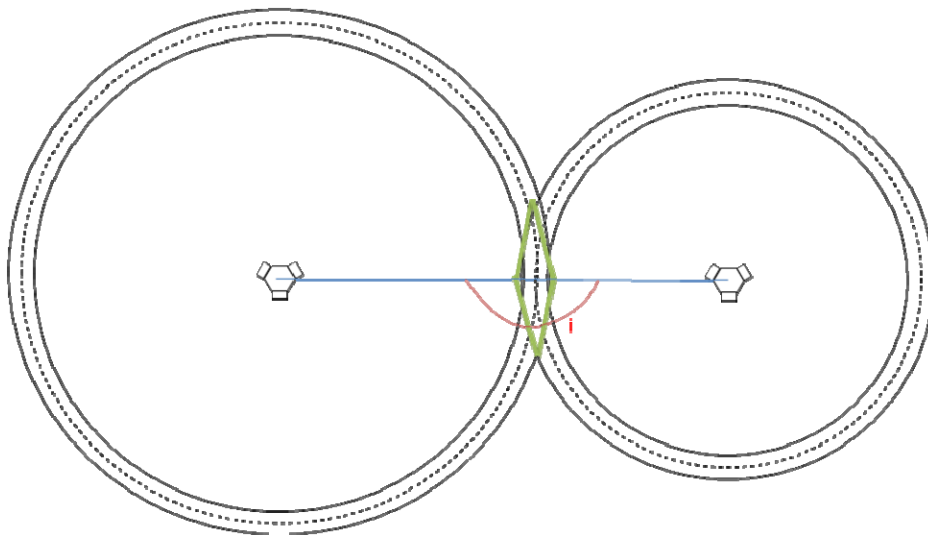
En la siguiente gráfica se puede observar que la posición no se puede determinar con un ángulo de inclusión cercano a los 180° por que el área de error se extiende al valor de la distancia entre las dos estaciones.



Para el caso del DME el error no es angular sino radial, es decir que el error no aumenta con la distancia como ocurre en el caso anterior del VOR, sino que está enmarcado por una circunferencia de radio ligeramente menor y otra de radio ligeramente mayor. En la siguiente gráfica se puede observar que el margen de error alrededor del cruce de las dos circunferencias está determinado por el rombo y es relativamente pequeño para el ángulo de inclusión de aproximadamente 100°.



En la siguiente grafica se observa el peor de los casos con un ángulo de inclusión cercano a los 180°, donde incluso ya no habría dualidad ya que las circunferencias son tangentes y el área de error crece pero no significativamente.

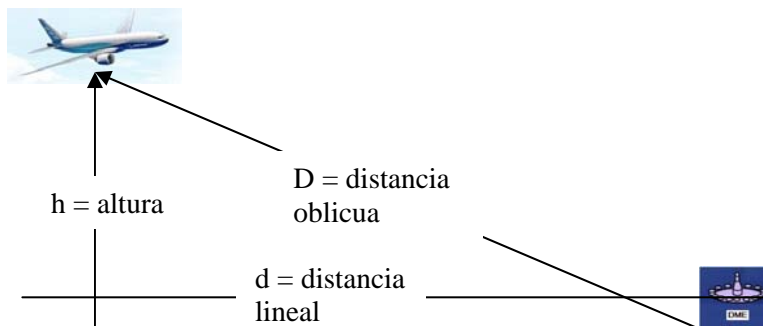


En todas las graficas anteriores se exageró un poco el error para que fuera visualmente más claro, pero en realidad especialmente en el caso del DME el error es menos significativo.

3 Acción sugerida

3.1 Se sugiere reducir la limitación por ángulo de inclusión como está actualmente de menos de 30° y más de 150° a una limitación de menos de 10° y más de 170°. Esta limitación se puede reducir debido lo anteriormente expuesto que demuestra que el error del DME no es angular sino radial.

3.2 Se sugiere incluir en el cálculo de posición con el método DME/DME la altura de la aeronave para reducir el error inducido por que el FMS no tiene en cuenta este dato y asume la distancia lineal d , como la distancia oblicua D que es la que realmente calcula el DME (ver la siguiente grafica). De esta manera el computador del FMS puede fácilmente calcular la distancia lineal a nivel de terreno simplemente así: $d = \sqrt{D^2 - h^2}$



De esta manera también se podría quitar la limitación por ángulo de elevación y por mínimo de distancia (actualmente está en 3 millas náuticas) ya que incluso con la aeronave sobre la estación DME, la distancia marcada sería igual a la altura y el FMS en este caso la asumiría como distancia 0.

3.3 Como complemento a la sugerencia anterior, se sugiere incluir en las bases de datos de las radioayudas especialmente de las estaciones DME la altura sobre el nivel del terreno. De esta manera se reduce el error por diferencia de alturas de las estaciones DME, que como mencionaba en algunos casos puede alcanzar los 10.000 pies.

3.4 La navegación DME/DME es indudablemente después de la navegación GNSS la más precisa y confiable. Con los cambios sugeridos se puede ampliar su uso (reduciendo la limitación por ángulo de inclinación y de elevación) y mejorando aún más la precisión. Esta navegación además es un excelente back up de la navegación satelital con la ventaja que es del total control de cada estado, lo que no ocurre en el caso del GPS o del GLONASS y próximamente del GALILEO.

* * * * *