



**Cuestión 3 del
Orden del Día:**

Reporte de actividades y entregables del GT – Interop y Subgrupos.

DESAFÍOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN MON

(Preparado por Brasil)

RESUMEN

Esta nota informativa presenta los desafíos que enfrenta el DECEA en la operacionalización del Proyecto DME/DME/Inercial, parte del Plan de Red Operacional Mínima (MON) de Brasil (PCA 100-5). Ante el crecimiento continuo de la dependencia de los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS) para la Navegación Basada en la Performance (PBN), que ha aumentado significativamente la vulnerabilidad de la aviación civil a las interferencias de radiofrecuencia (RFI) como el *jamming* y el *spoofing*, Brasil desarrolló esta estrategia integral. El plan abarca la infraestructura terrestre, los procedimientos operacionales y la capacitación diseñados para garantizar la resiliencia de la navegación aérea y la seguridad contra las interrupciones del GNSS. El proyecto tiene como objetivo proporcionar una infraestructura robusta y complementaria, especialmente para las operaciones RNAV 1 en Áreas Terminales (TMA) de Alta Densidad de Tráfico y operaciones RNAV 5 en los principales flujos aéreos de las aerovías superiores continentales.

Referencias:

- Resolución A42-8C de la 42ª Asamblea de la OACI;
- Doc 9750, Plan Mundial de Navegación Aérea (GANP); y
- PCA 100-5, Plan de Implementación de la Red Operacional Mínima (MON) en Respuesta a la Falla del GNSS, DECEA - Brasil.

1. Antecedentes

1.1 La comunidad mundial de la aviación se enfrenta a desafíos cada vez mayores debido a la creciente susceptibilidad de las señales GNSS a diversas formas de interferencia. La propuesta de Brasil, a través de la WP/210 (Implementación de una Red Operacional Mínima – MON) en la 42ª Asamblea de la OACI, contribuyó a los debates sobre la necesidad de directrices mundiales y criterios armonizados para implementar una Red Operacional Mínima (MON). El documento presentó el plan MON de Brasil y destacó la ausencia de normas internacionales para definir aeródromos estratégicos, volúmenes de espacio aéreo y requisitos mínimos de infraestructura terrestre, advirtiendo sobre los riesgos de respuestas fragmentadas e ineficientes.

1.2 Como resultado, la Resolución A42-8/C incorporó acciones que reflejan las propuestas de la WP/210, incluyendo el fomento de la definición de redes resilientes y la armonización de criterios a través de la cooperación internacional y de los Grupos Regionales de Planificación y Ejecución (PIRG). Estas medidas tienen como objetivo garantizar la coherencia en la resiliencia del CNS/ATM, promover estudios de viabilidad para la MON y garantizar operaciones seguras y continuas a escala mundial.

1.3 En línea con estas recomendaciones mundiales, Brasil detalla en este estudio la implementación del Plan MON (PCA 100-5) por parte del Departamento de Control del Espacio Aéreo (DECEA), publicado el 15 de mayo de 2025. Este plan establece un marco nacional integral para garantizar la continuidad y la seguridad de las operaciones aéreas durante las interrupciones del GNSS.

1.4 Uno de los componentes de este plan es el Proyecto DME/DME/Inercial, una iniciativa centrada en el desarrollo de una solución de navegación PBN resiliente basada en la infraestructura terrestre en TMA de alta demanda y en los principales flujos de las aerovías superiores. Para operacionalizar la navegación RNAV 1 DME/DME/Inercial de apoyo a los procedimientos SID/STAR de las TMA contempladas en el proyecto, el DECEA enfrentó algunos desafíos, que se presentarán en esta nota.

2. Análisis

El Plan MON

2.1 El PCA 100-5 es un plan integral que establece el marco, los procedimientos y las responsabilidades para la implementación de una Red Operacional Mínima (MON). La MON tiene como objetivo garantizar la continuidad y la seguridad de las operaciones de navegación aérea en caso de falla del GNSS, utilizando la infraestructura de navegación terrestre y procedimientos convencionales como DME/DME, DME/DME/IRU, VOR/DME, ILS, SID OMNI y RADAR. La estructura MON incluye procedimientos para todas las fases del vuelo —salida, ruta, llegada y aproximación— garantizando un entorno de contingencia robusto.

2.2 El Plan involucra varios factores operacionales y de infraestructura, tales como: Cobertura nacional con ayudas convencionales; Integración con PBN e infraestructura complementaria; Criterios para aeródromos estratégicos y espacio aéreo; Capacitación y simulación; Mantenimiento y revisión continuos; y Revisión de los Planes de Contingencia.

2.3 Es importante destacar que la implementación del plan considera los impactos en la capacidad y eficiencia del espacio aéreo, especialmente en aquellas porciones donde la geometría o la cobertura de la red DME/DME o de las ayudas convencionales es limitada. En el escenario actual, el DECEA se encuentra en una fase activa de consolidación de los análisis técnicos presentados por los cinco Centros Regionales, lo que asegura una estandarización metodológica en todo el territorio nacional.

2.4 Paralelamente, se están llevando a cabo vuelos de inspección dedicados a validar la cobertura real de los sensores terrestres en áreas terminales seleccionadas, asegurando la viabilidad técnica y la seguridad en la homologación de los procedimientos RNAV 1 basados estrictamente en sensores DME/DME/Inerciales.

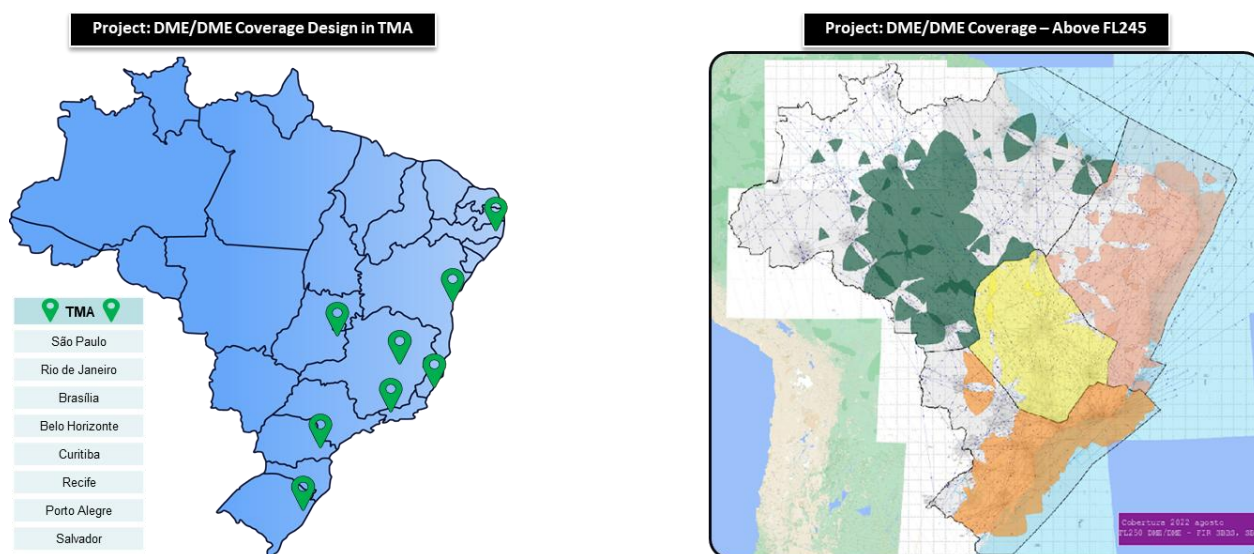
El Proyecto DME/DME/Inercial

2.5 Basado en el Bloque ASBU de la OACI "NAVS-B0/4 – Redes Operacionales Mínimas de Navegación (Nav. MON)" y en las mejores prácticas de EUROCONTROL, el Proyecto DME/DME/Inercial de Brasil tuvo como objetivo expandir estratégicamente la infraestructura terrestre para complementar el GNSS.

2.6 Debido a los desafíos logísticos y a las dimensiones continentales del territorio brasileño, la estrategia operacional fue diseñada para aprovechar los sistemas inerciales a bordo y llenar los huecos en la cobertura DME/DME. En consecuencia, la cobertura de DME/DME se ha ampliado recientemente con la instalación de 52 estaciones DME independientes.

2.7 El alcance del proyecto es apoyar los procedimientos RNAV 1 (SID/STAR DME/DME/IRU) en áreas terminales (TMA) con alta densidad de tráfico y operaciones RNAV 5 (DME/DME/IRU) en los principales flujos aéreos del espacio aéreo continental superior.

2.8 En esta estrategia, el mapa a la izquierda muestra las áreas terminales cubiertas por el proyecto, que representan las regiones más concurridas del país: São Paulo, Río de Janeiro, Brasília, Belo Horizonte, Curitiba, Recife, Porto Alegre y Salvador. El mapa a la derecha ilustra la cobertura prevista de DME/DME por encima del FL245 tras la implementación completa, elaborada con la herramienta EMACS (*Electromagnetic Control and Survey*), diseñada para atender los principales flujos de tráfico aéreo. Las áreas más oscuras indican lagunas de cobertura.



Los Desafíos del Proyecto DME/DME/Inercial – Cobertura en Bajas Altitudes y Vuelos de Validación de los Procedimientos

2.9 Según el Anexo 10 (Volumen I) de la OACI, el sistema DME/DME puede soportar operaciones RNAV 1, RNAV 2 y RNAV 5. Sin embargo, asegurar una cobertura "DME/DME Only" a bajas altitudes (por debajo de 2.000 pies) para su uso en las TMA es físicamente desafiante y costoso.

2.10 Para abordar los huecos de señal DME/DME en estas regiones, el propio Anexo 10 orienta a los Estados a considerar el uso de los sistemas inerciales de las aeronaves, recomendando consultas al documento EUROCONTROL *Guidelines for RNAV 1 Infrastructure Assessment* (EUROCONTROL-GUID-0114).

2.11 Siguiendo estas normativas internacionales y utilizando como ejemplo el caso del Reino Unido (Anexo B de EUROCONTROL-GUID-0114), el DECEA estructuró su evaluación basándose en el principio de que el sistema inercial (IRS/IRU) logra mantener la precisión exigida (error de navegación inferior a 0,866 NM) por un período de hasta 6,5 minutos después de la última actualización de posición.

2.12 Para validar la seguridad operacional de este modelo, el Grupo Especial de Inspección en Vuelo (GEIV) realiza evaluaciones reales utilizando la aeronave laboratorio. Durante la inspección de las salidas (SID) y llegadas (STAR), el Piloto Inspector configura el sistema de modo que la solución de vuelo

primaria sea el GNSS (FMS 1), mientras que el FMS 2 se ve forzado a recibir la solución DME/DME y otras (con la excepción del GNSS), estructurando el escenario de degradación más restrictivo.

2.13 La tripulación monitorea el momento exacto en que el FMS entra en el modo de navegación a estima (*Dead Reckoning - DR*), registrando coordenadas, nivel de vuelo de la pérdida de señal, alarmas de pérdida de performance PBN y eventuales desviaciones laterales para asegurar que los huecos respeten los límites tolerables del sistema inercial. A lo largo del perfil, también se registra cualquier emisión de alarma auditiva (como el FMS UNABLE RNP) en caso de que el Error de Posición Estimada (EPU/ANP) exceda la tolerancia admisible para la performance PBN.

2.14 A lo largo de este año se han realizado vuelos de inspección para evaluar los segmentos más críticos de los procedimientos STAR RNAV 1 DME/DME/Inercial de los aeropuertos de SBRR (Brasilia - DF), SBSP (Congonhas - SP) y SBGR (Guarulhos - SP). Los resultados fueron satisfactorios, algunos presentando huecos de cobertura DME/DME, que pueden ser complementadas con el uso del sistema inercial de las aeronaves capacitadas.

Los Desafíos del Proyecto DME/DME/Inercial – Uso de los DME asociados al ILS (Sin zero range offset)

2.15 Según el Anexo 10 de la OACI, si el DME asociado al ILS utiliza un desplazamiento de alcance cero (*zero range offset*), esta instalación debe excluirse de las soluciones de navegación RNAV. En este documento, también se observó que algunos FMS excluyen el uso de DME asociados al ILS, no siendo posible garantizar un servicio DME/DME consistente para todos los usuarios equipados con esta solución de navegación.

2.16 Además, según el Doc 9613 (Manual PBN) de la OACI, los sistemas RNAV no deben utilizar instalaciones indicadas por el Estado como inadecuadas para las operaciones RNAV 1 y RNAV 2 en la AIP o instalaciones asociadas a un ILS que utilicen un desplazamiento de alcance (*range offset*).

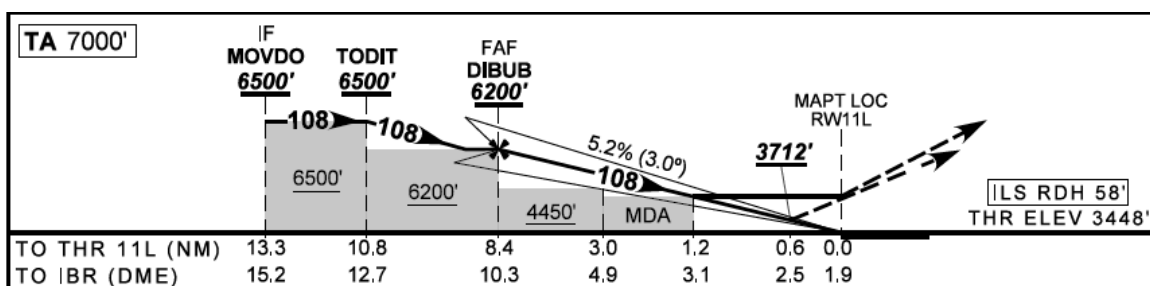
2.17 Por el contrario, el documento EUROCONTROL *Guidelines for RNAV 1 Infrastructure Assessment* presenta justificaciones para la excepción del uso de instalaciones DME asociadas al ILS, a pesar de desaconsejar su apoyo al RNAV. El uso puede ser considerado en caso de que el DME proporcione una cobertura omnidireccional adecuada, no tenga desplazamiento de alcance y ofrezca valor desde el punto de vista geométrico.

2.18 En el contexto de las cartas de Procedimientos de Aproximación por Instrumentos (IAP) publicadas por el ICA (Instituto de Cartografía Aeronáutica), Organización subordinada al DECEA, se publican dos escalas de distancia independientes, para garantizar la conciencia situacional visual requerida por los pilotos y, simultáneamente, preservar la geometría espacial real necesaria para el cálculo del FMS.

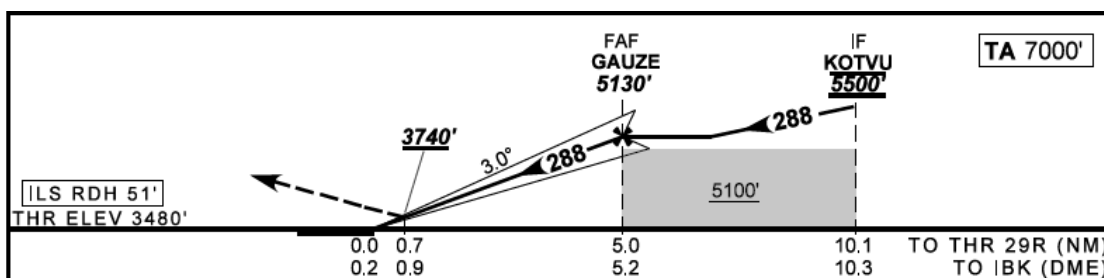
2.19 El Aeropuerto Internacional de Brasilia (SBRR) se indica como ejemplo práctico del rechazo al uso de desplazamientos artificiales de distancia (*zero range offset*) de los DME IBR e IBK, ambos asociados a los ILS, como se describe a continuación.



2.20 En la carta de aproximación de la pista 11L, operada por el ILS/DME IBR (frecuencia 110.30 MHz), cuando la aeronave alcanza la vertical exacta del umbral (0.0 NM), el sistema reporta de forma independiente la distancia radiogoniométrica verdadera de 1.9 NM hasta la antena del DME IBR, que está geográficamente cerca de las antenas del LOC.



2.21 De manera idéntica y sistémica, en la aproximación de la pista 29R, operada por el ILS/DME IBK (frecuencia 109.10 MHz), la marca de 0.2 NM al umbral refleja la distancia física exacta al equipo (antena del DME instalada cerca del GS), atestiguando que los DME asociados al ILS en Brasil no tienen *offset*.



2.22 En este contexto, a pesar de que los FMS de algunas aeronaves reciben los DME sin *offset* asociados a los ILS, incluida la aeronave de inspección del GEIV, es fundamental destacar que, en este momento, estas señales no están siendo consideradas para la planificación de la cobertura DME/DME ni para la elaboración de procedimientos de navegación aérea SID/STAR RNAV 1 DME/DME en Brasil. Esta decisión de no utilizar ayudas asociadas al ILS en el modelado actual se produce porque muchos FMS excluyen sumariamente la señal del equipo de forma preventiva tan pronto como identifican la sintonía en la frecuencia VHF del LOC.

3. **Acciones Sugeridas**

3.1 Se invita a la Reunión a:

- a) Reconocer la información proporcionada sobre la implementación del Plan MON de Brasil y los desafíos enfrentados para la provisión del Proyecto DME/DME/Inercial en Áreas Terminales; y
- b) Alentar a los Estados a participar en debates sobre estas experiencias y promover la colaboración regional destinada a armonizar criterios y desarrollar planes de contingencia robustos e interoperables para fortalecer la resiliencia del CNS/ATM en toda la región.

FIN