



Cuestión 5 del Orden del Día: **Implantación operacional de nuevos sistemas automatizados ATM e integración de los existentes**

ESTUDIO SOBRE FACTIBILIDAD Y CONVENIENCIA DEL USO DEL SERVICIO ADS-B POR SATELITE EN LA REGIÓN SAM

(Presentada por la Secretaría)

RESUMEN	
Esta nota informativa presenta el avance inicial del estudio sobre la factibilidad y conveniencia del uso del servicio ADS-B por satélite en la región SAM.	
Referencias:	
<ul style="list-style-type: none">- Informe de la Decimonovena Reunión/Taller del Grupo de Implantación SAM (SAM/IG/19) - Proyecto Regional RLA/06/901 (Lima, Perú, 22 al 26 de mayo de 2017)- Onceava Reunión del Comité de Coordinación del proyecto RLA/06/901 (Lima Perú 5 de octubre de 2017)	
Objetivos estratégicos de la OACI:	<i>A – Seguridad Operacional</i> <i>B – Capacidad y eficiencia de la navegación aérea</i>

1 Introducción

1.1 La Reunión SAM/IG/19 consideró conveniente la elaboración de un estudio para analizar la conveniencia y factibilidad de la adopción del servicio de ADS-B Satelital propuesto por AIREON a nivel regional.

1.2 La Reunión SAM/IG/19 consideró que este estudio lo realizara un experto de la Región con el apoyo del proyecto RLA/06/901, en este sentido se sometería a la onceava reunión del comité de coordinación del proyecto RLA/06/901 el apoyo financiero para la elaboración de la misma.

1.3 La Onceava Reunión del Comité de Coordinación del Proyecto RLA/06/901 aprobó los recursos para la elaboración de estudio, una semana de misión de un experto de vigilancia de la Región en Lima Perú.

2 Análisis

2.1 Para la elaboración del estudio se contó con los servicios del Sr. Iván Salas experto en sistema de vigilancia de la DAC de Ecuador, asimismo la empresa AIREON proporcionó información técnica sobre el ADS-B satelital, así como costos referenciales. La misión del experto se realizó en Lima, Perú, del 23 al 27 de abril de 2018.

2.2 El estudio inicial tiene como objetivo determinar la efectividad del servicio ADS-B Satelital, para satisfacer los requerimientos de operaciones en rutas superiores e inferiores. En una segunda fase se analizará la efectividad del ADS-B para operaciones en are de aproximación y área terminal.

2.3 La metodología del estudio comprende los siguientes aspectos:

- Revisión de conceptos básicos sobre ADS-B y ADS-B Satelital, y diferencias básicas.
- Consideraciones sobre los formatos en la adquisición de datos para vigilancia en el Plan Mundial de Navegación Aérea de la OACI y las capacidades actuales de los sensores para vigilancia en la Región SAM.
- Cobertura de vigilancia región SAM para satisfacer requerimientos operacionales en rutas superiores e inferiores.
- Análisis de los temas técnicos y económicos del servicio ADS-B Satelital, comparados con las capacidades en la Región, para su utilización a futuro

Conclusiones y Recomendaciones

2.4 Para esta Reunión se presenta una primera entrega del estudio que abarca algunos Estados de la Región SAM, en los mismos se realiza un estudio de cobertura de vigilancia radar existente para 10000, 15000 y 25000 pies, asimismo para estos Estados se hace un análisis técnico económico del servicio ADS-B satelital con los servicios de vigilancia convencional y ADS-B terrestre.

2.5 Para completar el estudio se requiere que los Estados revisen la información presentada confirmando los sistemas de vigilancia instalados en sus FIRs y las coordenadas geográficas de los mismos. De algunos Estados no se tiene información de las coordenadas de los sistemas de vigilancia tales como Bolivia (nuevos radares), Brasil, Guyana Francesa, Guyana, Paraguay, Panamá, Surinam, Uruguay y Venezuela. En este sentido se requiere que los Estados de la Región revisen la información presentada en el estudio y completen con la información requerida.

2.6 El documento inicial del estudio se presenta como **Apéndice** de esta nota informativa.

3 Acciones sugeridas

3.1 Se invita a la Reunión:

- a) Tomar nota de la información presentada;
- b) presentar comentarios sobre el estudio que se presenta como Apéndice de esta nota informativa; y
- c) presentar acciones para la revisión y terminación del estudio.

APÉNDICE

**ORGANIZACIÓN DE AVIACION CIVIL INTERNACIONAL
OFICINA REGIONAL SUDAMERICANA**

Proyecto RLA/06/901 – Asistencia para la implantación de un sistema regional de ATM considerando el concepto operacional de ATM y el soporte de tecnología en comunicaciones, navegación y vigilancia (CNS) correspondiente

**ESTUDIO SOBRE LA FACTIBILIDAD Y CONVENIENCIA
DEL USO DEL SERVICIO ADS-B POR SATÉLITE
EN LA REGIÓN SAM**

Versión 1.0

Abril 2018

Tabla de contenido

Introducción.....	8
1. Antecedentes.....	9
1.1 La vigilancia del tránsito de aeronaves en el espacio aéreo	9
1.2 ¿Qué es ADS-B?.....	10
1.3 Uso del ADS-B para actividades de vigilancia del tránsito aéreo y relación con la aviónica.....	11
1.4 Introducción de un nuevo servicio para los ANSP denominado ADS-B Satelital.....	14
2. Análisis de los servicios actuales de vigilancia	17
2.1 Requerimientos de cobertura	17
2.2 Desarrollo de parámetros de actuación para vigilancia.....	23
2.3 Estudio del servicio ADS-B Satelital.....	42
2.4 Costos implementación para la distribución de datos ADS-B Satelital.....	48
3. Factibilidad de uso del servicio ADS-B Satelital.....	50
3.1 Proveedor del servicio	50
3.2 Explotadores.....	52
4. Riesgos asociados al servicio.....	54
4.1 Interrupción del servicio	54
4.2 Cobertura parcial.....	54
4.3 Integridad de datos.....	54
4.4 Períodos amplios de interrupciones.....	53
4.5 No disponibilidad de transponders ADS-B ES 2020 en aeronaves.....	55
4.6 Falla última milla de los canales de datos para entrega de información.....	55
4.7 Costo del servicio no rentable para el PSNA.....	55
5. Conveniencia de uso del servicio.....	56
5.1 Costos referenciales	56
5.2 Costos/cobertura versus costos SSR.....	56
5.3 Costos/cobertura versus costos ADS-B terrestre.....	58
6. Consideraciones generales para la contratación del servicio	60
6.1 Determinar las áreas No Radar y áreas Radar para las certificaciones de los transponders...60	
6.2 Canales de datos y de coordinación.....	60
6.3 Acuerdo de Nivel de Servicio.....	60
7. Recomendaciones para la Región.....	63
7.1 Técnica	63
7.2 Eficiencia	64
7.3 General	64
Anexo 1.....	65
Anexo 2.....	65

Lista de Tablas

Tabla No. 1. Datos de extensiones de las FIR y Continentales

Tabla No. 2. Referencia para cálculo de coberturas respecto a las FIR

Tabla No. 3. Ancho de Banda en la REDDIG para servicio ADS-B Sat

Tabla No. 4 Valores de los parámetros considerados como fundamentales

Tabla No. 5. Costo del servicio de vigilancia con sensores tipo SSR

Tabla No. 6. Costo del servicio de vigilancia con servicio ADS-B Sat

Tabla No. 7. Costo del servicio de vigilancia con sensores tipo ADS-B

Tabla No. 8. Costo del servicio de vigilancia con servicio ADS-B Sat

ACRÓNIMOS

ACAS	Sistema anticolidión de a bordo
ADS-B	Vigilancia dependiente automática (transmisión)
ADS-C	Vigilancia dependiente automática (contrato)
ANSP	Proveedor de servicios de navegación aérea
ASTERIX	Estándar de Eurocontrol para el formato binario de mensajería de datos de vigilancia de ATM (gestión del tráfico aéreo)
ATM	Gestión del tráfico aéreo
ATN	Red del tráfico aéreo
ATS	Servicio del tráfico aéreo
CAA	Civil Aviation Authority
CTA	Control del tráfico aéreo
ELS	Vigilancia Elemental
ES	Extended Squitter
ESARR	Requisito reglamentario de seguridad de EUROCONTROL
FAA	Federal Aviation Administration
FOD	Detección de objetos extraños
FRUIT	Respuestas falsas asíncronas
GNSS	Sistema global de navegación por satélite
GPS	Sistema de posicionamiento global
GS	GS Estación terrestre
ICAO	International Civil Aviation Organization
ID	IDentificación
KPA	Áreas clave de desempeño
MLAT	MultiLATERación
MSSR	Radar secundario de vigilancia monopolso
MTBCF	Tiempo medio entre fallas críticas
MTBF	Tiempo medio entre fallas
MTTR	Tiempo medio de reparación
NM	Milla náutica
PoD or PD	Probabilidad de detección
PCL	Localización coherente pasiva
PMR	Monitor de precisión en las pistas
PSR	Radar primario de vigilancia
R&D	Investigación y desarrollo
RF	Radiofrecuencia
Rx	Receptor
SAP	Parámetro de acceso al sistema
SESAR	Single European Sky ATM Research Programme
SMR	Radar de movimiento en superficie
SSR	Radar secundario de vigilancia
STCA	Alerta de conflicto a corto plazo
TDOA	Diferencia de tiempo de llegada
TIS-B	Servicios de información sobre el tráfico (transmisión)
TMA	Área de maniobras en la terminal
TOA	Hora de llegada
TWT	Tubo de ondas progresivas
Tx	Transmisor
UAT	Transceptor de acceso universal

VDL	Enlace de datos de VHF
VHF	Very High Frequency (frecuencia muy alta)
WAM	Multilateración de área amplia

Introducción

Conforme el Proyecto **RLA/06/901 - Asistencia para la implantación de un sistema regional de ATM considerando el concepto operacional de ATM y el soporte de tecnología en comunicaciones, navegación y vigilancia (CNS) correspondiente y conforme al** marco de las actividades del mismo aprobadas durante la Décimo Primera Reunión del Comité de Coordinación (RCC/11) realizada en Lima, Perú el 5 de octubre de 2017, se consideró la necesidad de elaborar un estudio para analizar la conveniencia y factibilidad de la adopción del servicio de ADS-B satelital a nivel regional en el marco del plan de acción para la implantación de sistemas de vigilancia, multilateración y ADS en la Región.

Al efecto se solicitó a la DGAC Ecuador apoyo del señor **Iván Salas Garzón**, Especialista CNS, para la elaboración de este estudio en una misión a realizarse en Lima, Perú del 23 al 27 de abril del presente año, la cual se cumplió efectivamente y el producto es la presente guía.

Objetivo del Estudio

El presente estudio tiene como objetivo el determinar la efectividad de un nuevo servicio denominado ADS-B Satelital, para satisfacer los requerimientos de operaciones en rutas superiores e inferiores.

Metodología del Estudio

- Revisión de conceptos básicos sobre ADS-B y ADS-B Satelital, y diferencias básicas.
- Consideraciones sobre los formatos en la adquisición de datos para vigilancia en el Plan Mundial de Navegación Aérea de la OACI y las capacidades actuales de los sensores para vigilancia en la Región SAM.
- Análisis de los temas técnicos y económicos del servicio ADS-B Satelital, comparados con las capacidades en la Región, para su utilización a futuro.
- Cobertura de vigilancia región SAM para satisfacer requerimientos operacionales en rutas superiores e inferiores.
- Conclusiones y Recomendaciones

1. Antecedentes

Recopilación de textos y opiniones en el ámbito aeronáutico sobre el tema de vigilancia

1.1 La vigilancia del tránsito de aeronaves en el espacio aéreo

Actualmente, las soluciones para vigilancia son herramientas que permiten a los controladores aéreos visualizar el espacio asignado a su responsabilidad y mostrar quién está ahí, pero, definitivamente han evolucionado en forma significativa. Hoy existen tecnologías que hacen posible la vigilancia en entornos muy difíciles, y son soluciones que están haciendo del *control del tráfico aéreo: más preciso, seguro y eficiente*.

En consecuencia, en tierra, los controladores del tráfico aéreo se aseguran que esos cientos de aviones vuelen con seguridad y logren una determinada eficiencia, contando con el soporte fundamental de las modernas tecnologías para vigilancia.

Siempre es posible leer o escuchar que unas soluciones son mejores que otras, lo cierto es que no necesariamente hay una solución única para todos. Una de ellas podría brindar resultados excepcionales en un área de aproximación compleja, pero podría llegar a ser menos eficaz en una zona montañosa. Incluso se puede descubrir que solo se va a lograr resultados óptimos mediante una combinación de tecnologías para la vigilancia.

Entonces se puede deducir que *es mejor estudiar una solución de vigilancia que se adapte a su medio ambiente, su tráfico actual y proyectado y su presupuesto financiero*. Una solución que pueda satisfacer los flujos de tráfico del futuro, mientras que al mismo tiempo cumpla sus requisitos de mayor seguridad, mayor eficiencia y menores costos para hoy.

Para el efecto anterior y revisando el panorama mundial en materia de vigilancia, podemos encontrar los sistemas colaborativos, los independientes y varias formas de combinarlos, pero, en consideración a la naturaleza del presente estudio, nos centraremos en el ADS-B y su alternativa de recepción de mensajes ADS a través de un satélite, como se explicará en adelante.

Por lo anterior, en primer lugar, se revisan brevemente los conceptos del ADS-B, pues existe en la Región SAM un estudio para la implantación de esta tecnología para vigilancia, para luego complementarlo con el concepto de la tecnología ADS-B Satelital, como base para el estudio de factibilidad y conveniencia en su aplicación en la Región SAM.

1.2 ¿Qué es ADS-B?

ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast), es una tecnología de vigilancia que provee al Control del Tránsito Aéreo (Air Traffic Control - ATC) con una imagen más exacta de la posición tridimensional de la aeronave durante su operación en ruta, aproximación, terminal o superficie.

Para el efecto, la aeronave transmite su identificación, posición, altitud, velocidad y otra información, y esta transmisión es recibida por estaciones terrestres ADS-B para luego ser visualizadas en la pantalla del controlador, similar a la traza que se obtiene de un radar secundario.

El ADS-B entrega la información que recibe de la aeronave, mediante sistemas de visualización, al Control del Tránsito Aéreo (ATC), para que este observe, separe y dirija a las aeronaves con mayor precisión y de manera más eficiente, en el área de cobertura de la facilidad utilizada. Por otra parte, cabe destacar que estos servicios de vigilancia están utilizándose ahora en áreas donde no existe o actualmente existe muy poca cobertura de radar, respaldo de los sistemas de vigilancia radar, e incluso se conoce que la Administración Aeronáutica de Estados Unidos (FAA) intenta dismantlar sitios radar para terminales en algunas áreas a fin de ahorrar gastos asociados con el mantenimiento de esos sistemas y reducir la dependencia del radar convencional.

Esta tecnología también tiene el potencial de proveer un conocimiento situacional a los pilotos a través del ADS-B In y otras futuras aplicaciones, mejorando las condiciones del soporte a estos usuarios ahora y posteriormente.

1.3 Uso del ADS-B para actividades de vigilancia del tránsito aéreo y relación con la aviónica

Todas las Administraciones Aeronáuticas de la Región SAM tienen un proveedor de servicios para la navegación aérea (ANSP) en las regiones de información de vuelo (FIR). Estas contienen muchas áreas con servicios de ruta y muchas más áreas de aproximación, por lo tanto, requieren siempre un proceso importante de gestión de la vigilancia como parte de un enfoque basado en la efectividad de los sistemas que apoyan esa gestión.

El alcance del servicio de vigilancia está definido en forma general como se presenta en el siguiente esquema:

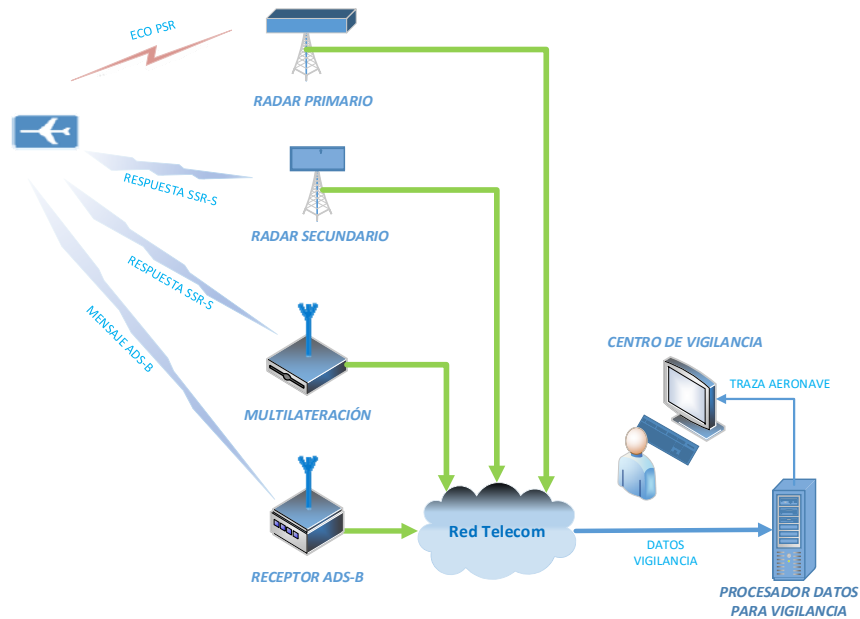


Gráfico No. 1 – Tipos de sensores a integrarse en centros de vigilancia

En el esquema de actuación obsérvese que aparece el sensor ADS-B y su relación con las actividades de vigilancia, además de su aporte al control del tránsito aéreo.

Detalle de las ventajas más significativas:

- Los costos de adquisición, instalación y operación de una estación ADS-B, son los más bajos en comparación con otros sistemas de vigilancia.
- Mínimos requerimientos de infraestructura, pues el equipamiento puede instalarse en una infraestructura simple o, incluso, en una ya existente como las estaciones de radio, radares o ayudas a la navegación.
- Alta precisión de la posición (precisión dado por el Sistema de Posicionamiento Global – GPS y/u otro similar)
- Alta tasa de actualización (1 segundo)
- El informe de cada posición se transmite con una indicación de la integridad asociada con los datos: los usuarios pueden determinar con qué aplicaciones pueden ser compatibles los datos
- Inmune al multi-trayecto
- Baja latencia
- En general muy bajo costo en su ciclo de vida
- Es factible utilizarlo para vigilancia de aeronaves y de vehículos terrestres.
- Es posible disponer de un enlace de datos, aire a tierra
- Intención disponible (altitud nivelada, próximo punto de paso, etc.)
- Si las ventajas mencionan mayor precisión y control del tránsito más preciso, las ventajas de seguridad operacional y eficiencia en la operación se incrementan y generan mayor ahorro de combustible y menos contaminación.

Detalle de las desventajas más visibles:

- *Requiere que todas las aeronaves estén equipadas con un transponder que tenga la capacidad de difundir un mensaje ampliado (extended squitter) en modo S.*
- *Para determinar la posición y la velocidad de la aeronave, se basa exclusivamente en el GNSS (sistema global de navegación por satélite). La posición de la aeronave se determina a bordo y no tiene una validación con sistemas terrestres*
- Los efectos ionosféricos alrededor del ecuador podrían afectar al GNSS
- No toda la flota área nacional de un Estado cuenta con transpondedores con capacidad ADS-B
- La flota de aeronaves que opera en la Región SAM no tiene una aviónica homogénea, por lo que algunos vuelos con capacidad de ES transmiten mensajes en la versión 0 y otros en 1.

- El costo de adquisición de los transponders necesarios para alimentar los ADS-B en tierra podría ser alto todavía, en particular para la aviación general. Esta última, en muchos casos, aún no cuenta con equipos FMC/FMS necesarios para el procesamiento de datos.
- Por las consideraciones anteriores, las fases de implantación probablemente tengan que establecer espacios aéreos exclusivos para la implantación y explotación de vigilancia con sensores ADS-B.
- Muchos centros donde se puede visualizar el tránsito aéreo, no cuentan con capacidad de procesamiento de datos ASTERIX categoría 21ed. 1.8, ni con procesamientos y fusión de datos conforme con las recomendaciones técnicas para la Región SAM.

1.4 Introducción de un nuevo servicio para los ANSP denominado ADS-B Satelital (ADS-B Sat)

Principio comparado de funcionamiento

Los esquemas generales de funcionamiento de las dos modalidades son las siguientes:

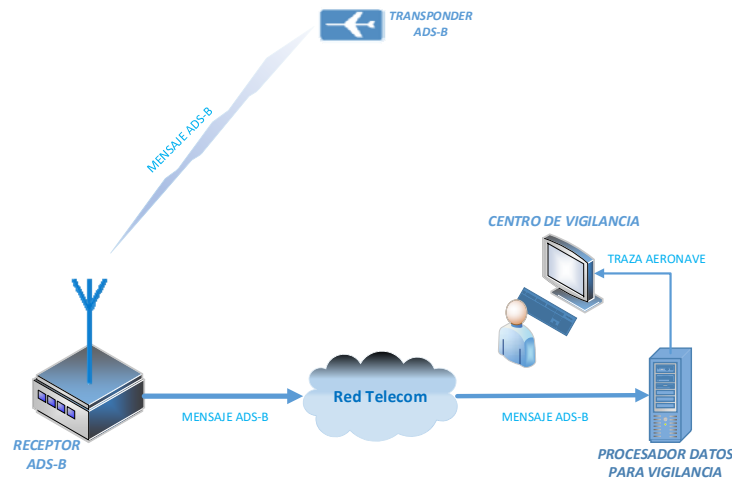


Gráfico No. 2 - ADS-B Convencional

Obsérvese que el receptor ADS-B se encuentra en algún sitio en tierra y el mensaje desde la aeronave requiere línea de vista para llegar a ese receptor. Esto significa que hay una dependencia importante de la orografía del terreno y altitud de la aeronave para lograr una cobertura total dentro del alcance del equipo.

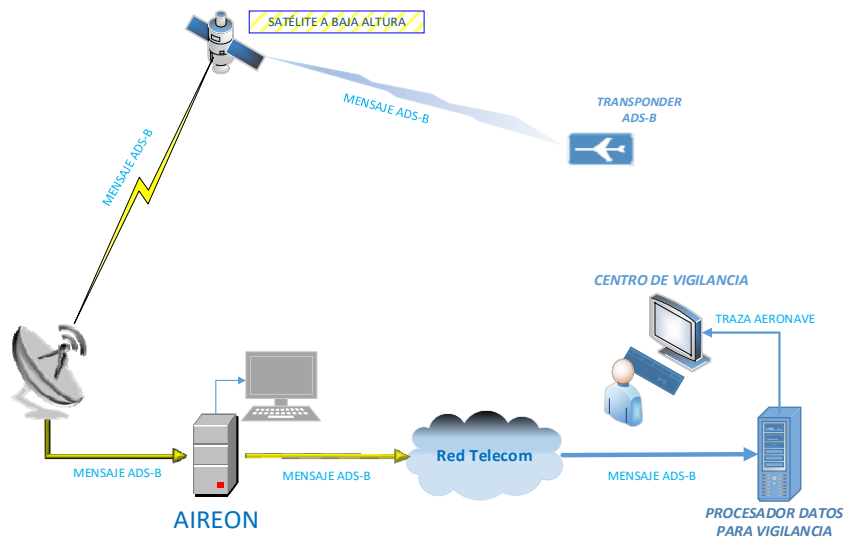


Gráfico No. 3 - ADS-B vía Satélite

Obsérvese que con este modo, el mensaje ADS-B siempre estará con línea de vista hacia el satélite, por lo tanto, no tiene una dependencia de la orografía y altitud de la aeronave para recibir el mensaje.

Comparación ADS-B Terrestre y ADS-B Satelital:

- *La diferencia fundamental es el modo de traslado de los datos ADS-B, difundidos por la aviónica de la aeronave, hacia los centros de consumo de datos.*
 - *Mediante el modo convencional, el mensaje ADS-B difundido por la aeronave puede ser recibido directamente por el equipo receptor en tierra, dentro del alcance técnico previamente establecido. Este equipo está ubicado en un sitio estratégico, con la finalidad de obtener la máxima cobertura posible por línea de vista, luego el mensaje ADS-B se canalizará y se entregará al usuario final.*
 - *Mediante el modo vía satélite, el mensaje ADS-B difundido por la aeronave puede ser recibido directamente por una constelación de satélites a baja altura, procesado en un centro de datos para luego ser canalizado por sistemas de telecomunicaciones y ser entregado al usuario final.*

La diferencia expuesta es significativa en la parte de cobertura, pues mientras un receptor en tierra tiene obstáculos naturales o artificiales en su entorno, lo cual usualmente limita su cobertura, en particular a bajas alturas, un satélite no tiene esa limitación y podría alcanzar un 100% de cobertura incluso a bajas alturas. Esta es una ventaja significativa para la detección de aeronaves en todo momento y lugar.

- Lo que se expresa en el párrafo anterior se nota, en especial, en grandes extensiones de terreno y zonas de montaña, por el alcance en distancia de los equipos y por los obstáculos por línea de vista, respectivamente.
- Se estima entonces que el ADS-B Satelital, no tendría problemas de cobertura en ningún caso, ya sea por alcance o por orografía del terreno, como se expone. Esta es la principal ventaja y, probablemente, la única sobre uno o más receptores ADS-B en tierra.
- Los datos que recibe el receptor ADS-B en tierra, son los mismos que recoge el sistema ADS-B Satelital. En términos generales, significa que la misma información la tendremos por cualquier medio que se utilice. No hay diferencia.
- Los datos del ADS-B Satelital llegarían a los usuarios finales por un proveedor de Telecomunicaciones externo, que no es parte del ANSP, por lo que el tiempo de latencia puede aumentar, lo cual, debe ser observado permanentemente.

2. Análisis de los servicios actuales de vigilancia

2.1 Requerimientos de cobertura

2.1.1 Directrices del Plan mundial de Navegación Aérea

El Plan de Navegación Aérea Mundial contempla algunos conceptos y tiempos, en el tema de Vigilancia, que se encuentra resumido en el siguiente gráfico (Vigilancia mediante Mejoras por Bloques del Sistema de Aviación (ASBU)):

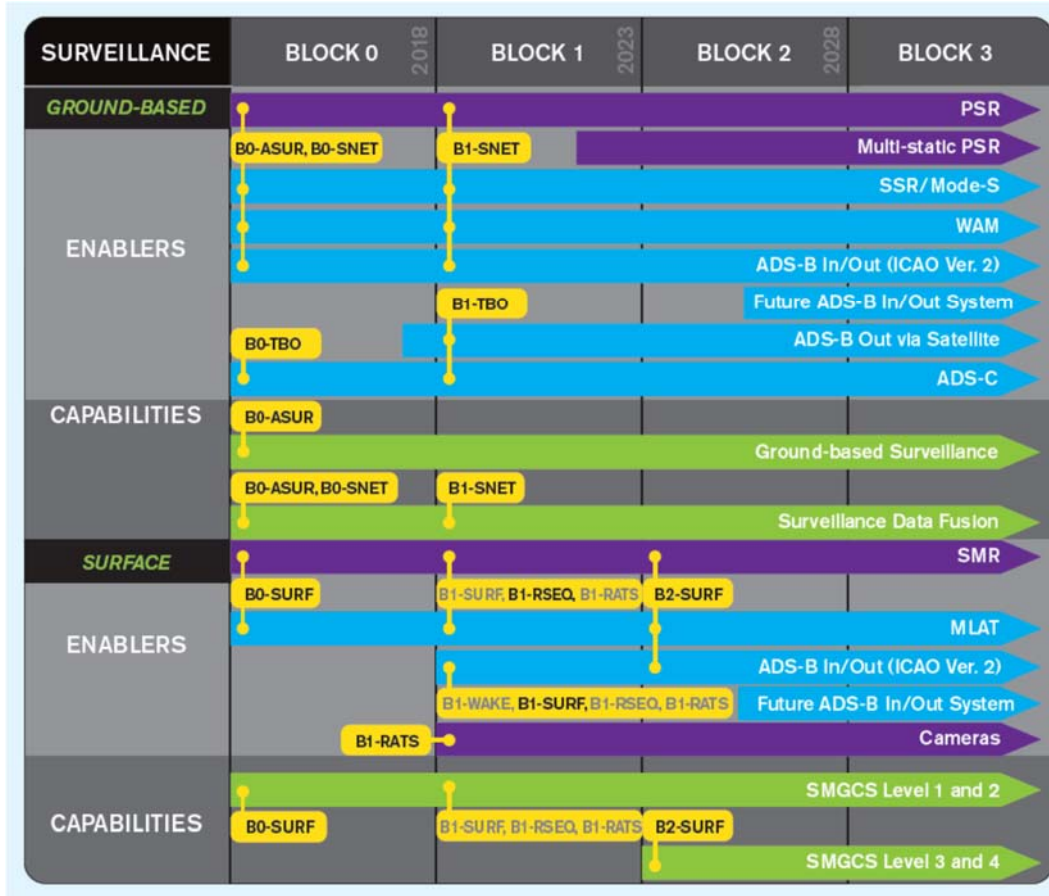


Gráfico No.4 Esquema Vigilancia – Plan Mundial de Navegación Aérea

En el Gráfico No. 4, puede observarse que los sistemas ADS-B se prevén como soporte (habilitadores) en dos modalidades, ADS-B terrestre y ADS-B satelital, el primero está ya en el Bloque 0 y el segundo está considerado a partir del año 2018 en adelante en el mismo Bloque. Se concluye entonces que ambos tipos de modalidades de servicio son ya parte del Plan Mundial.

En la Región SAM la planificación de los sistemas de vigilancia se encuentra en *Plan de Implantación del Sistema de Navegación Aérea Basado en el Rendimiento para la Región SAM (PBIP Versión 1.5 noviembre 2017)*. En este documento se considera la planificación regional de los sistemas de navegación aérea para el periodo 2017 al 2023.

Al enfocarnos únicamente en el servicio ADS-B Satelital, también es posible observar lo que se espera lograr del mismo en términos generales: “mejor sincronización del tránsito y fase inicial de la operación basada en trayectorias”.

B1-TBO Mejor sincronización del tránsito y fase inicial de la operación basada en trayectorias	
Mejoras en la sincronización del flujo del tránsito en los puntos de integración en ruta y optimización de la secuencia de aproximación mediante el uso de 4DTRAD y aplicaciones de aeropuerto, p. ej., D-TAXI.	
Aplicabilidad	
Se necesita una sincronización eficaz de las instalaciones de a bordo y en tierra para derivar beneficios apreciables, en particular para quienes estén equipados. Los beneficios aumentan con el número de aeronaves equipadas en el área donde se prestan los servicios.	
Beneficios	
Capacidad:	Efecto positivo debido a la reducción del volumen de trabajo relacionado con el establecimiento de la secuencia cerca del punto de convergencia y otras intervenciones tácticas. Efecto positivo debido a la reducción del volumen de trabajo relacionado con las autorizaciones de salida y de rodaje.
Eficiencia:	Aumenta al utilizar la capacidad de hora de llegada requerida (RTA) de la aeronave para planificar la sincronización del tránsito a través del espacio aéreo en ruta y hacia el espacio aéreo terminal. Las operaciones "de lazo cerrado" en procedimientos RNAV aseguran que los sistemas de a bordo y en tierra tengan una visión común de la evolución del tránsito y facilitan su optimización. La eficiencia de los vuelos aumenta mediante la planificación previa del comienzo del descenso, el perfil de descenso y las medidas de demora en ruta, así como una mayor eficiencia de las rutas en el espacio aéreo terminal.
Medio ambiente:	Trayectorias más económicas y ecológicas, en particular absorción de algunas demoras.
Seguridad operacional:	Mayor seguridad operacional en los aeropuertos y sus inmediaciones al reducir los malentendidos y errores de interpretación de las autorizaciones complejas de salida y de rodaje.
Previsibilidad:	Mayor previsibilidad del sistema ATM para todos los interesados mediante una gestión más estratégica del flujo del tránsito dentro del espacio aéreo en ruta y terminal de las FIR, aplicando la capacidad RTA o el control de velocidad de la aeronave para lograr una CTA en tierra. Secuenciación y medición previsibles y reproducibles. Operaciones "de lazo cerrado" en procedimientos RNAV, asegurando que los sistemas de a bordo y en tierra tengan una visión común de la evolución del tránsito.
Costo:	Está en curso el establecimiento del análisis de rentabilidad. Los beneficios de los servicios aeroportuarios propuestos ya quedaron demostrados en el programa CASCADE de EUROCONTROL.

Gráfico No.5 Esquema B1-TBO – Plan Mundial de Navegación Aérea

Se toma también en cuenta las tendencias sobre el servicio de Vigilancia del mismo Plan Mundial de Navegación (PMNA):

Vigilancia

Las tendencias importantes de los próximos 20 años consistirán en lo siguiente:

- | | |
|--|--|
| a) se combinarán técnicas diferentes para obtener la mejor relación de costo y beneficios según las limitaciones locales; | 1) clara presentación del distintivo de llamada y el nivel; |
| b) la vigilancia en cooperación se basará en tecnologías existentes utilizando las bandas RF de 1030/1090 MHz (SSR, Modo S, WAM y ADS-B); | 2) mejor conciencia de la situación; |
| c) mientras pueden determinarse perfeccionamientos de las capacidades, se prevé que la infraestructura de vigilancia planificada pueda satisfacer todas las demandas que se le impongan; | 3) uso de algunos de los parámetros de aeronave por enlace descendente (DAP) y notificación de altitud con intervalos de 25 ft para mejorar los algoritmos de seguimiento radar; |
| d) la parte de a bordo del sistema de vigilancia pasará a ser más importante y debería servir para el futuro con interoperabilidad mundial para las diversas técnicas de vigilancia que se utilizarán; | 4) presentación de listas de pilas verticales; |
| e) aumentará el uso de los parámetros de aeronave por enlace descendente con las ventajas siguientes: | 5) reducción de la transmisión radioeléctrica (controlador y piloto); |
| | 6) mejor gestión de las aeronaves en pilas; y |
| | 7) reducciones en las salidas de nivel. |
| | f) la funcionalidad pasará de tierra a aire. |

Gráfico No.6 – Tendencias sobre Vigilancia en el PMNA

En consideración a que el parámetro “cobertura” es la diferencia más significativa en las dos formas de recuperar los mensajes ADS-B emitidos por un transponder con esa capacidad, este documento guía analizará la cobertura en las modalidades: convencional y vía satélite, pues el producto final debe ser transparente para el control del tránsito aéreo, por esta razón, se elaborarán gráficas de cobertura por línea de vista con datos disponibles a la fecha de elaboración de esta guía y que se utilizarán como línea de base. Sin embargo, también se analizarán otros parámetros importantes como disponibilidad del servicio y latencia.

Como última parte de las premisas de análisis, se toma como referencia algunas recomendaciones que se encuentran en la “Guía de la Vigilancia Global” (colocar referencia)

- ***Cualesquiera que sean las dificultades geográficas o el nivel del tráfico, los ANSP deben tener la capacidad de vigilancia más adecuada:***
 - En primer lugar, se deben centrar en las necesidades y no en los productos;
 - Se debe considerar una oferta completa de seguridad y protección del espacio aéreo, desde tierra hasta en ruta;
 - Es obligatoria la excelencia en el desempeño y la eficiencia de costos mediante una solución optimizada;
 - Se requieren varias salidas para aliviar interfaz a cualquier sistema ATM;
 - Herramientas de validación y una simulación comprobada de sensores múltiples, diseñada especialmente, ayudan a optimizar el diseño del sistema.

- ***El proveedor de soluciones globales de vigilancia tiene para asistir a los clientes a definir la mejor solución para satisfacer sus necesidades.***
 - Definición de la cobertura de vigilancia deseada
 - Identificación de las limitaciones relacionadas con el sitio: Cobertura complicada y restricciones del terreno / Rellenado de espacios
 - Identificación de las restricciones operativas: la accesibilidad de los sitios, los sistemas existentes, las comunicaciones limitadas

- ***Modelado de la infraestructura de vigilancia para cubrir nuevas rutas.***
 - Se deben tener en cuenta varios criterios con el fin de proporcionar la solución óptima, como los requisitos operacionales, densidad del tráfico medio y máximo, el presupuesto (actual y futuro), el entorno (terreno, propagación...), así como los objetivos de seguridad y protección.
- ***La optimización del sistema de vigilancia global se basa en varias evaluaciones:***
 - Los índices de desempeño (probabilidad de detección / identificación correcta, precisión de la localización)
 - Evaluaciones de costos (adquisición de equipos, operaciones, mantenimiento)
 - Huella externa (ocupación espectral, impacto ambiental).
- ***Los sistemas de vigilancia global son una manera eficiente de combinar varias tecnologías, y repartir entre las capas de vigilancia una parte de la carga de los “auxiliares” tales como:***
 - Infraestructura (torre, antenas, etc.)
 - Fuentes de energía (fuentes de alimentación, etc.)
 - Enlaces de comunicación
- ***Con frecuencia PSR y SSR se instalan en una instalación conjunta. También las tecnologías alternativas se podrían implementar en una infraestructura integrada.***
 - la integración de un receptor ADS-B en un SSR
 - la integración de una capacidad ADS-B en una estación WAM
 - la integración de una estación de PSR y un ADS-B + WAM en un sistema común

Como es posible observar, la OACI, en forma general, toma en cuenta el servicio del sensor ADS-B con equipos en tierra y también la variante para la adquisición de los datos a través de satélites a baja altura. Además, proporciona varias recomendaciones al respecto.

Esto se evidencia claramente en los documentos: Plan Mundial de Navegación Aérea, en el ámbito regional en el PBIP (Performance Base Implementation Plan - Version 1.5 de noviembre 2017) y se tienen también recomendaciones de la industria de sensores de vigilancia.

2.1.2 Datos del Plan Regional CAR/SAM, VOLUME II, 2015

El análisis de la capacidad de vigilancia en la Región SAM (14 países) se basará en una parte del total de sistemas instalados que suman **156 SSR y 33 ADS-B**.

La capacidad de cobertura de los sistemas se los grafica mediante el software denominado “radio-mobile” que dibuja el alcance por línea de vista, sin embargo, no están todos los sistemas de la Región pues no se dispone de sus coordenadas de ubicación.

2.1.3 Parámetros para definir el rendimiento de sensores para vigilancia

“Modelización del rendimiento. En el contexto del enfoque basado en el rendimiento, el objetivo de la modelización no es explicar cómo funciona el sistema de navegación aérea en términos de corrientes de datos, mensajes, etc., sino construir modelos de rendimiento de la ATM que ayuden a comprender, cuantitativa o cualitativamente, las relaciones de causa-efecto entre las variables de rendimiento, mostrando cómo pueden lograrse los objetivos de performance individuales y cómo interactúan (mejoran o interfieren) mutuamente.” (Doc. 9883 de la OACI)

De lo anterior y según la ISO 13236 (ver Anexo 2), los 4 elementos considerados para sistemas de calidad y que tienen relación con los sistemas de vigilancia son: capacidad, integridad, tiempo y continuidad del servicio:

- I. Detección de todas las operaciones aéreas en el espacio aéreo considerado
- II. Integridad de la información de vigilancia
- III. Oportunidad de la información de vigilancia en los centros de control
- IV. Continuidad en tiempo de la detección de las aeronaves

Métricas de apoyo. Se utilizan para determinar los indicadores de rendimiento. Estos valores se medirán en cada espacio aéreo y por cada sensor de vigilancia, para luego establecer las estadísticas en los espacios que estén cubiertos por dos o más sensores.

- I. Porcentaje de cobertura de los sensores de vigilancia, en el espacio aéreo
- II. Porcentaje de respuestas válidas de la aviónica de la aeronave, con posición verificada en la aeronave
- III. Tiempo en segundos entre la emisión de la respuesta de vigilancia por parte de la aviónica y su recepción en un centro de vigilancia
- IV. Porcentaje en tiempo de resolución de fallas que afectan la continuidad

Metas de rendimiento. Representan los valores de los indicadores de rendimiento que deben alcanzarse o superarse para considerar que se ha logrado plenamente un objetivo de rendimiento.

- I. 95% de cobertura de los sensores de vigilancia, en el espacio aéreo
- II. 98% de respuestas válidas de la aviónica de la aeronave, con posición verificada en la aeronave
- III. 2 segundos de tiempo o menos, entre la emisión de la respuesta de vigilancia por parte de la aviónica y su recepción en un centro de vigilancia
- IV. El tiempo medio para reparación de fallas no debe ser mayor a 1 hora en el sitio, si estas se presentan. Esta última condición sumada a que el servicio tiene como soporte sistemas que no fallan antes de las 25.000 horas de servicio.
(agregar referencias)

A continuación, se desarrollan los conceptos descritos hasta este punto, los cuales, junto con las metas a alcanzarse, aportarán para determinar la factibilidad y conveniencia del uso del servicio denominado ADS-B Satelital, objeto de este estudio.

2.2 Desarrollo de los parámetros de actuación para vigilancia

2.2.1 Cobertura espacio aéreo

- Condiciones actuales por extensión de la FIR y extensión geográfica continental:

Con datos tomados del Plan de Navegación Aérea CAR/SAM, VOLUME II, 2015, sobre la capacidad de los sensores de vigilancia (SSR's y ADS's) de los países SAM e información suministrada por los Estados sobre ADS-B (abril 2018), y datos geográficos de cada Estado, se presenta un cuadro por número de sensores SSR, extensión de la FIR y extensión continental en cada caso, a fin de obtener una relación de cuántos sensores por Km² se dispone en cada área (mientras menor sea el número de Km² hay mas cobertura). Esta división es importante pues evidentemente en el área oceánica no es factible colocar estaciones con sensores radar.

Por lo que se expresa en el párrafo anterior, también resulta importante el dato de la relación entre la extensión de la FIR y la extensión continental de cada país.

No.	País	SSR/ADS	Área(s) FIR (Km ²)	Relación FIR (Km ² /SSR)	Área Continente (Km ²)	Relación Continente (Km ² /SSR)	Relación FIR/Cont.
1	ARGENTINA	25 / 0	17.908.074,62	716.322,98	2.792.573,00	111.702,92	6,41
2	BOLIVIA	1 / 0	1.085.891,42	1.085.891,42	1.098.581,00	1.098.581,00	1,0
3	BRASIL	69 / 0	n/d	n/d	8.514.877,00	123.404,01	
4	CHILE	11 / 0	10.038.771,54	912.615,59	756.102,00	68.736,55	13,28
5	COLOMBIA	15 / 11	1.648.431,14	109.895,41	1.141.748,00	76.116,53	1,44
6	ECUADOR	7 / 0	942.758,82	134.679,83	283.561,00	40.508,71	3,32
7	FRENCH GUI.	1 / 5	1.383.199,17	1.383.199,17	83.534,00	83.534,00	16,56
8	GUYANA	0 / 5	270.916,57	n/a	214.970,00	n/a	1,26
9	PANAMÁ	3 / 0	621.464,86	207.154,95	74.177,00	24.725,67	8,38
10	PARAGUAY	1 / 6	399.136,50	49.892,06	406.752,00	50.844,00	1,0
11	PERU	8 / 2	3.564.434,95	445.554,37	1.285.216,00	160.652,00	2,77
12	SURINAME	1 / 0	262.126,10	262.126,10	163.820,00	163.820,00	1,60
13	URUGUAY	2 / 0	2.326.000,97	1.163.000,49	176.215,00	88.107,50	13,20
14	VENEZUELA	10 / 0	1.204.815,45	120.481,54	916.445,00	91.644,50	1,31

Tabla No. 1. Datos de extensiones de las FIR y Continentales

De los datos obtenidos, por ejemplo: Chile y Uruguay, tienen bastante espacio oceánico en sus FIR con relación a su extensión continental, esto significa rutas con grandes distancias, en cambio, Paraguay tiene rutas solo continentales, y no rutas de larga distancia. La tabla anterior describe la situación geográfica general de la Región.

Para países que se tienen datos de posición de sensores de vigilancia, se calcula las áreas de cobertura, en base a unidades de 1°x1°, como ejemplos:

<u>Medida referencial de superficie:</u>		
Unidad 1° x 1° = 12.321,00 Km2		
<i>País</i>	<i>Extensión FIR</i>	<i>Unidades</i>
Argentina	17.908.074,62	1.453,46
Colombia	1.648.431,14	133,79
Ecuador	942.758,82	76,52
Guayana Francesa	1.383.199,17	112,26

Tabla No. 2. Referencia para cálculo de coberturas respecto a las FIR

Para el efecto, se han tomado gráficos que contienen los límites de las FIR y las rutas presentes en ellas, a fin de observar las coberturas de los sensores de radar. No se toman en cuenta en esta actividad a los sensores ADS-B terrestres.

Por facilidad de presentación, se colocan las FIR de Colombia-Panamá, Ecuador-Perú y Argentina-Chile. Con esto, también se revisa toda la parte oceánica del Pacífico.

Colombia-Panamá Sensores SSR: 15 Colombia / 3 Panamá.

Colombia. Con referencia a la extensión geográfica de la FIR, dispone de 1 radar por cada 110.000 Km2, y 1 radar por cada 76.000 Km2 en su área continental, aproximadamente. También obsérvese que tiene un área oceánica de 506.683 Km2 (extensión FIR menos extensión Continente) en donde no es factible instalar sensores de vigilancia en su superficie.

Panamá. Con referencia a la extensión geográfica de la FIR, dispone de 1 radar por cada 207.000 Km2, y 1 radar por cada 25.000 Km2 en su área continental. También obsérvese que tiene un área oceánica de 547.287 Km2 en donde no es factible instalar sensores de vigilancia en su superficie.

10.000 pies Colombia: 37,37% de cobertura; Panamá: 33,70% de cobertura

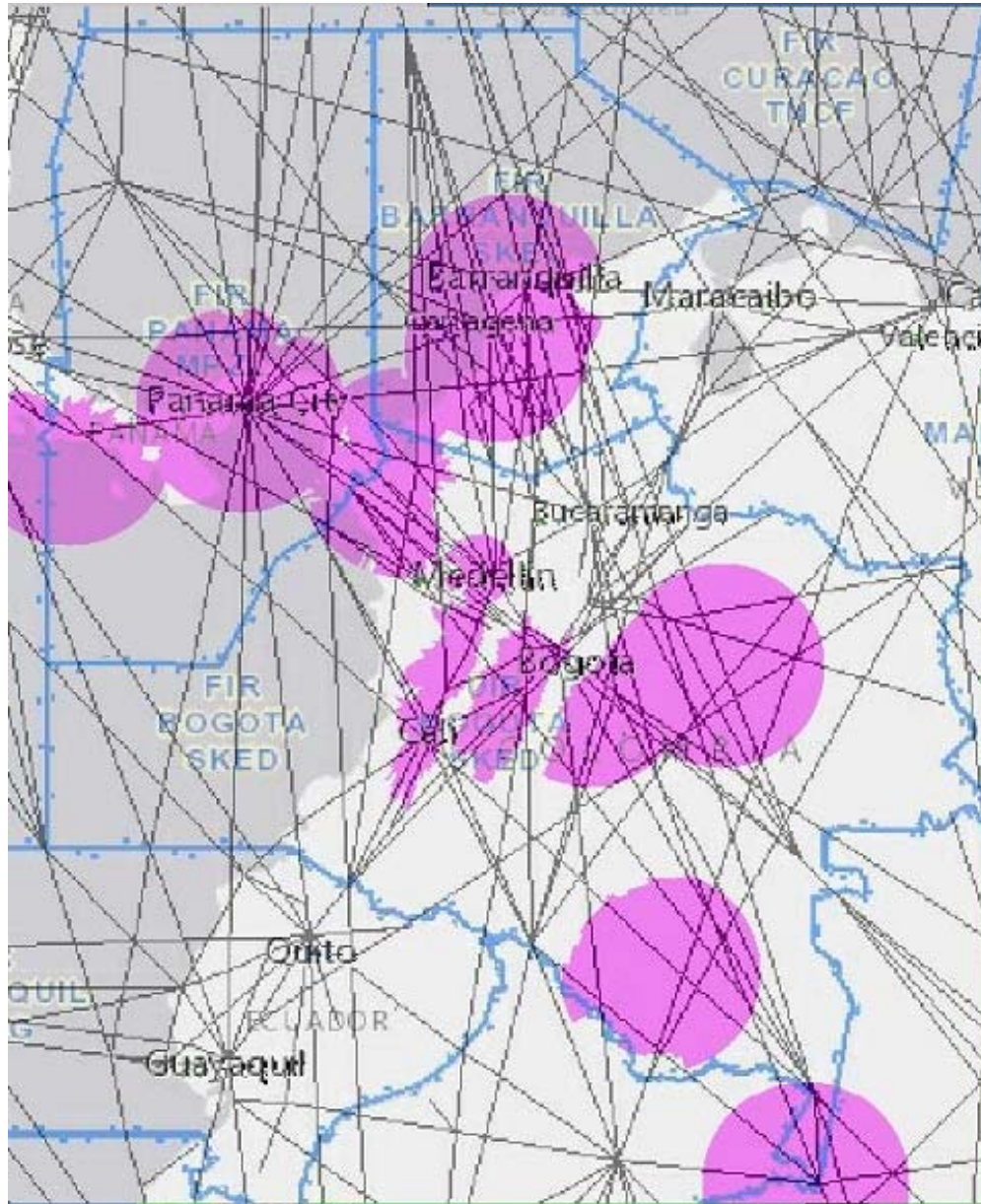


Gráfico No. 7. Colombia-Panamá – 10.000 pies

15.000 pies Colombia: 49,33% de cobertura; Panamá: 41,63% de cobertura

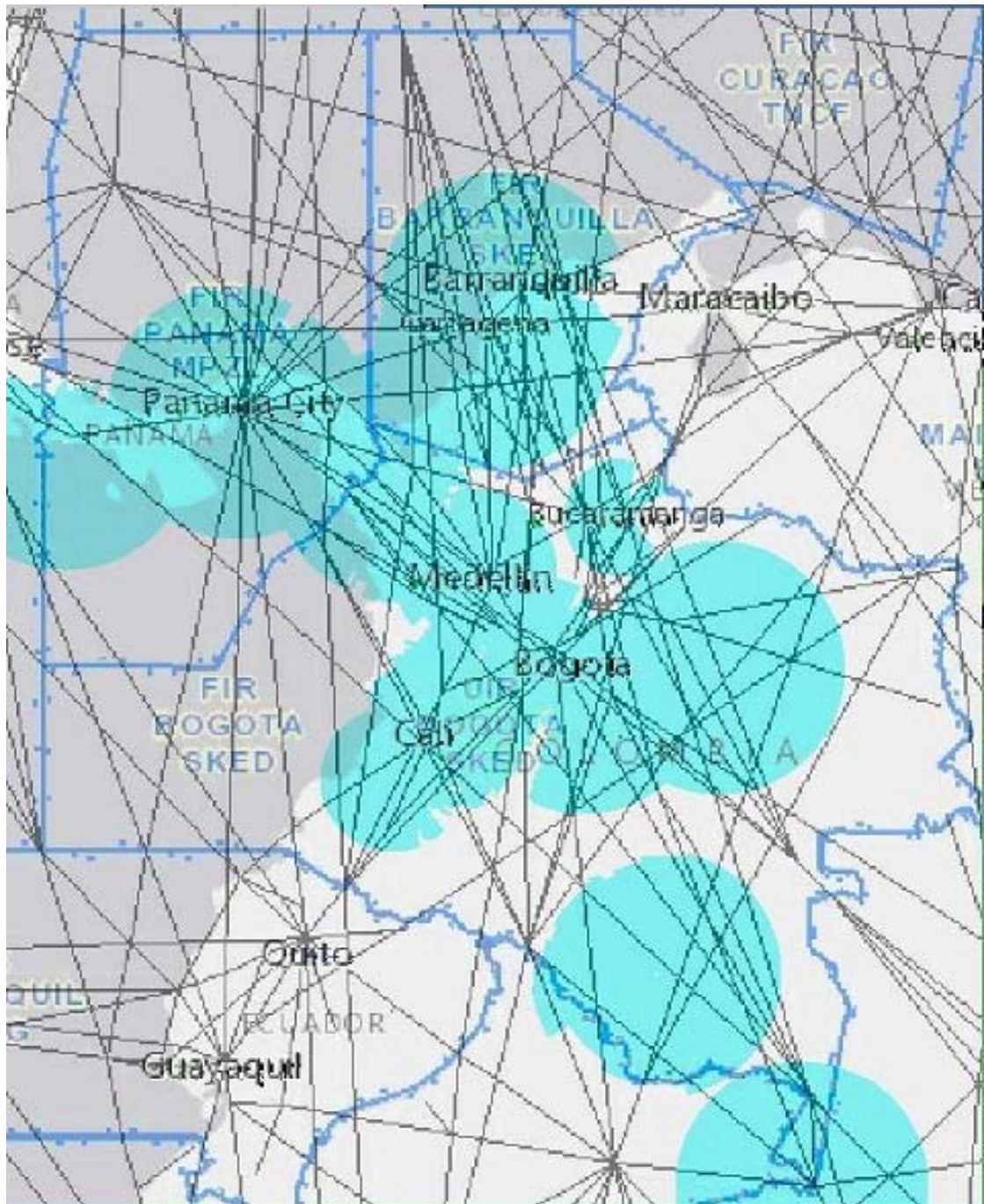


Gráfico No. 8. Colombia - Panamá – 15.000 pies

25.000 pies Colombia: 77,73% de cobertura; Panamá: 59,48% de cobertura

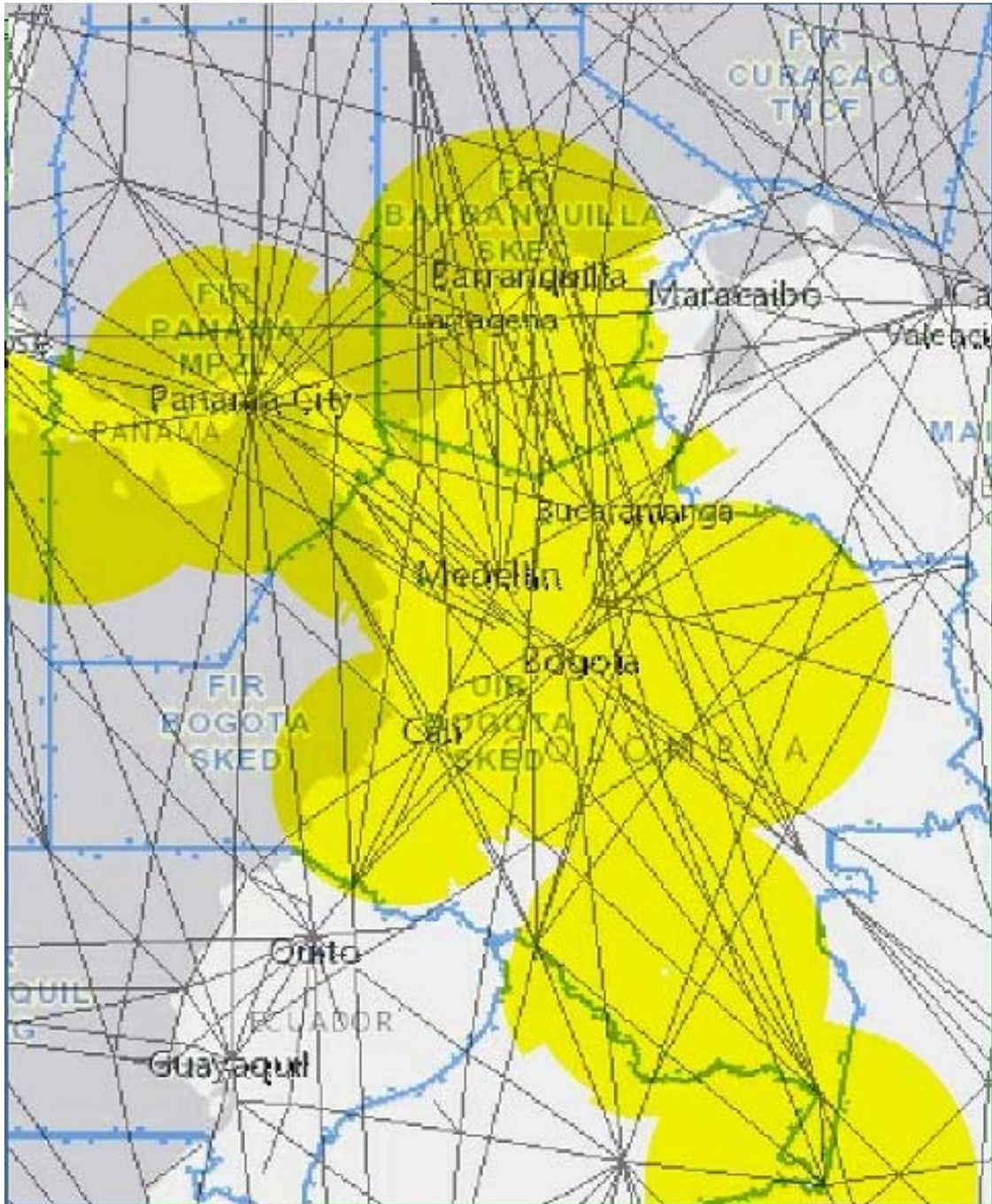


Gráfico No. 9. Colombia - Panamá – 25.000 pies

Observaciones Colombia

- a) La cobertura a baja altura (10.000 pies) es un poco más de la tercera parte de la FIR y sigue incrementándose por encima del nivel inicial, llegando hasta un 80% aproximadamente, a 25.000 pies.

- b) Por lo que se expone en el literal anterior, no se podrá lograr una cobertura completa en la FIR debido a la orografía irregular del terreno y al espacio oceánico existente, en el cual no se podrán instalar sistemas de vigilancia en su superficie.

Observaciones Panamá

- a) La cobertura a baja altura (10.000 pies) es la tercera parte de la FIR y sigue incrementándose por encima del nivel inicial, llegando hasta un 60% aproximadamente, a 25.000 pies.
- b) Por lo que se expone en el literal anterior, no se podrá lograr una cobertura completa en la FIR, fundamentalmente debido al espacio oceánico existente, en el cual no se podrán instalar sensores en su superficie.

Ecuador-Perú Sensores SSR: 7 Ecuador / 8 Perú.

Ecuador. Con referencia a la extensión geográfica de la FIR, dispone de 1 radar por cada 134.679 Km², y 1 radar por cada 40.508 Km² en su área continental. También obsérvese que se tiene un área oceánica de 659.197 Km² en donde no es factible instalar sensores de vigilancia en su superficie.

Perú. Con referencia a la extensión geográfica de la FIR, dispone de 1 radar por cada 445.000 Km², y 1 radar por cada 160.000 Km² en su área continental. También obsérvese que se tiene un área oceánica de 2'279.218 Km² en donde no es factible instalar sensores de vigilancia en su superficie.

10.000 pies Ecuador: 27,45% de cobertura; Perú: 13,14% de cobertura

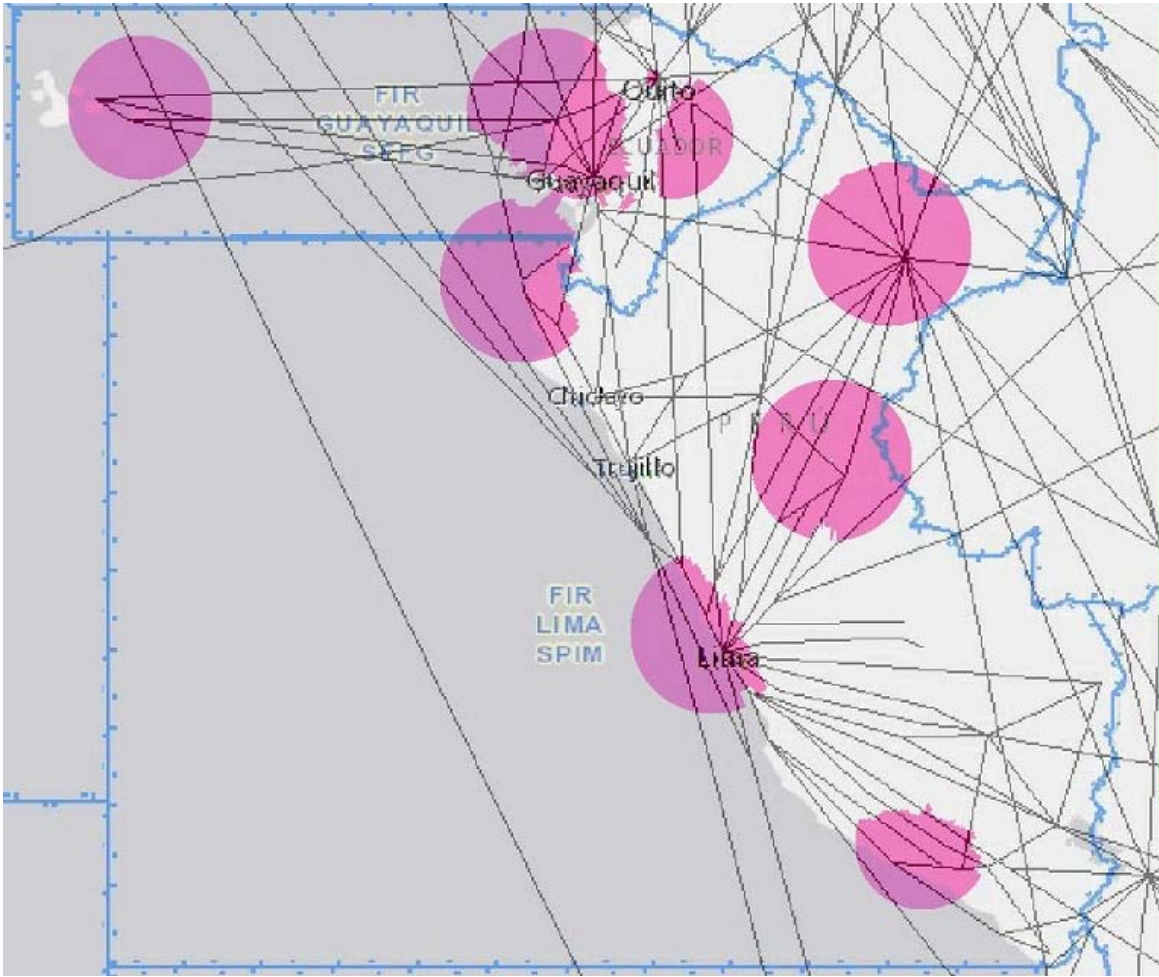


Gráfico No. 10. Ecuador - Perú – 10.000 pies

15.000 pies Ecuador: 45,74% de cobertura; Perú: 19,70% de cobertura

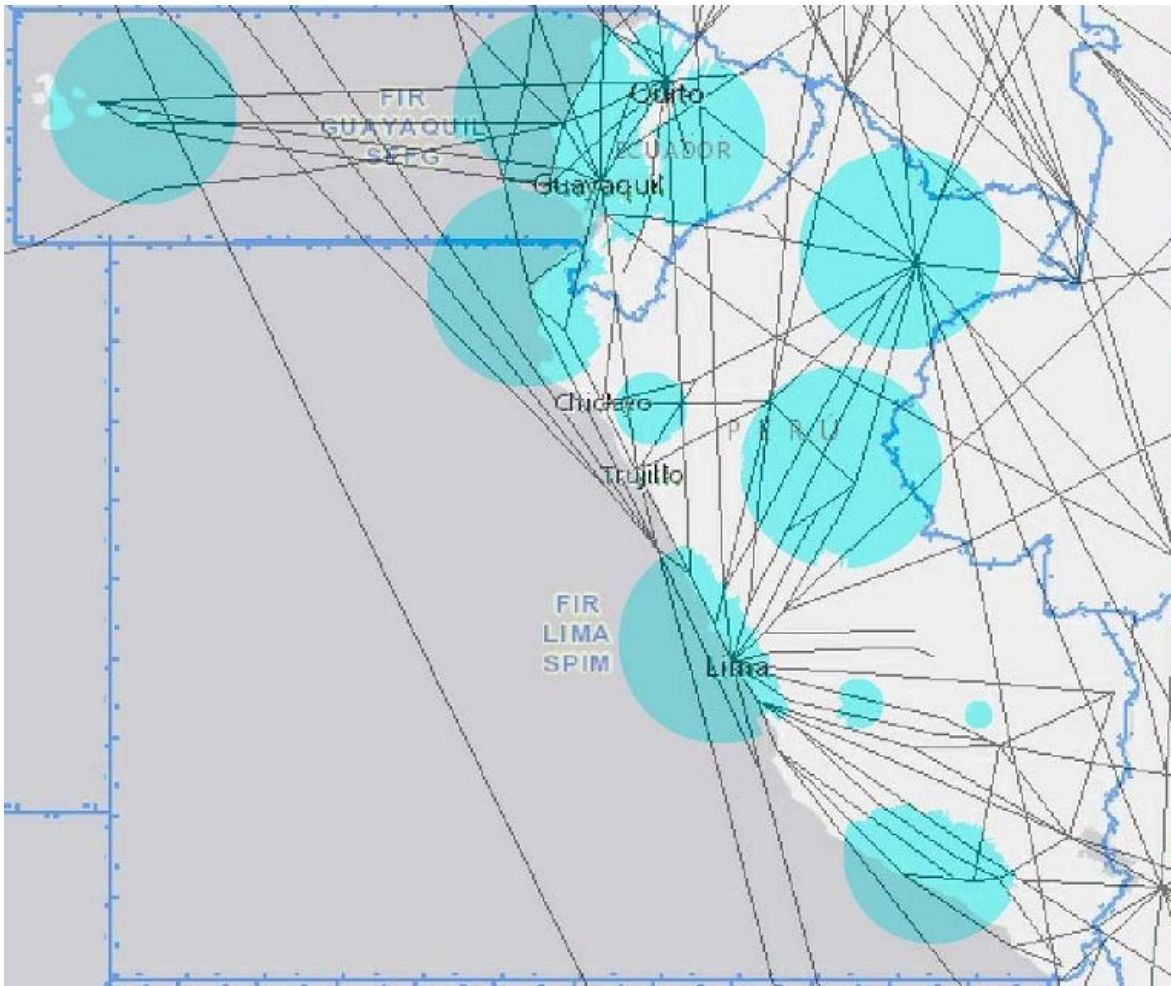


Gráfico No. 11. Ecuador - Perú – 15.000 pies

25.000 pies Ecuador: 74,49% de cobertura; Perú: 43,21% de cobertura

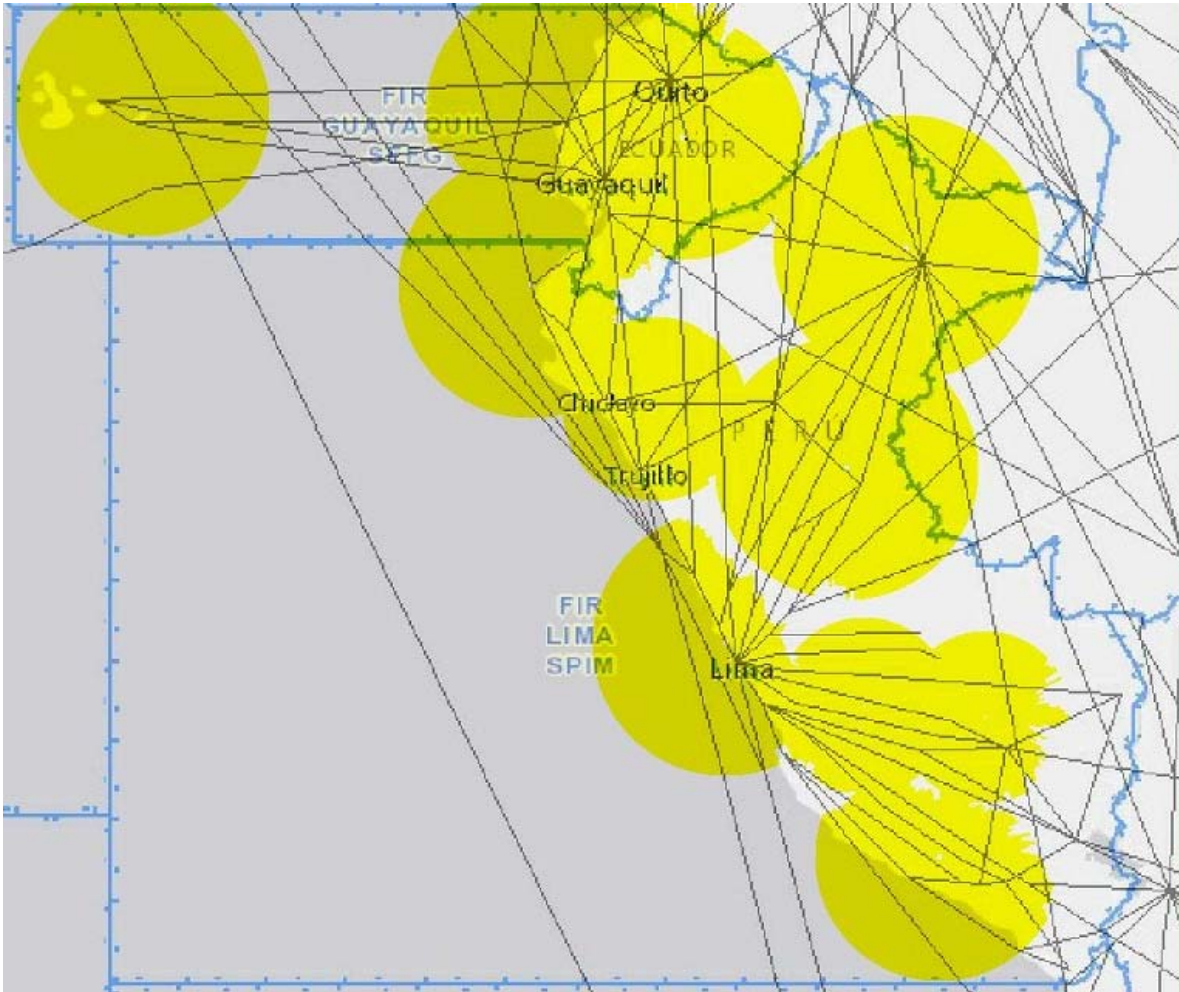


Gráfico No. 12. Ecuador – Perú – 25.000 pies

Observaciones Ecuador

- a) La cobertura a baja altura (10.000 pies) es casi una cuarta parte de la FIR y sigue incrementándose por encima del nivel inicial, llegando hasta un 78% aproximadamente, a 25.000 pies.
- b) Por lo que se expone en el literal anterior, no se podrá lograr una cobertura completa en la FIR debido a la orografía irregular del terreno y al espacio oceánico existente, en el cual no se podrán instalar sistemas en su superficie.

Observaciones Perú

- a) La cobertura a baja altura (10.000 pies) solo alcanza un 13%. El bajo valor resultante se explica por la gran extensión de espacio oceánico que es parte de la FIR Lima. Y aunque sigue incrementándose por encima del nivel inicial, llega hasta un 43% aproximadamente, a 25.000 pies, lo cual es un valor importante considerando su parte oceánica.
- b) Por lo que se expone en el literal anterior, no se podrá lograr una cobertura completa en la FIR debido al gran espacio oceánico existente, en el cual no se podrán instalar sistemas en su superficie, y por la orografía irregular del terreno en menor proporción.

Argentina - Chile. Sensores SSR: 27 Argentina / 10 Chile

Argentina. Con referencia a la extensión geográfica de la FIR, dispone de 1 radar por cada 716.000 Km², y 1 radar por cada 112.000 Km² en su área continental. También obsérvese que se tiene un área oceánica de 15'115.501 Km² en donde no es factible instalar sensores de vigilancia en su superficie.

El área oceánica a cargo de Argentina es la mayor superficie en la Región SAM de los datos que se dispone, y es realmente muy grande.

Chile. Con referencia a la extensión geográfica de la FIR, dispone de 1 radar por cada 912.000 Km², y 1 radar por cada 68.000 Km² en su área continental. También obsérvese que se tiene un área oceánica de 9'282.669 Km² en donde no es factible instalar sensores de vigilancia en su superficie.

El área oceánica de Chile también es muy grande, aunque menor que la de Argentina.

Nota. Por facilidad práctica de la herramienta “radio-mobile”, las coberturas de Argentina y Chile se las obtuvo en dos gráficos.

10.000 pies Argentina: 12,73% de cobertura; Chile: 8,96% de cobertura

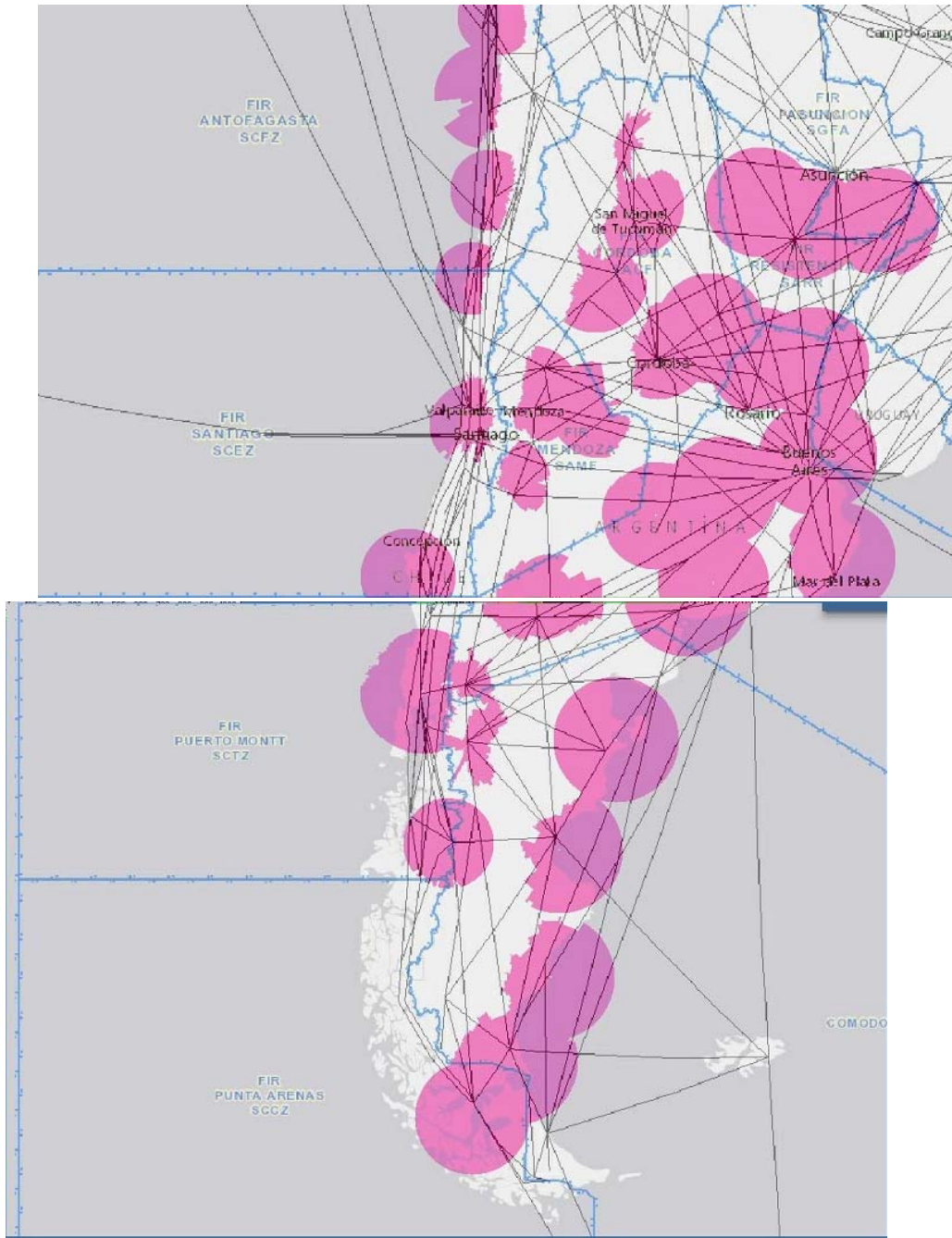


Gráfico No. 13. Argentina-Chile – 10.000 pies

15.000 pies Argentina: 15,27% de cobertura; Chile: 11,66% de cobertura

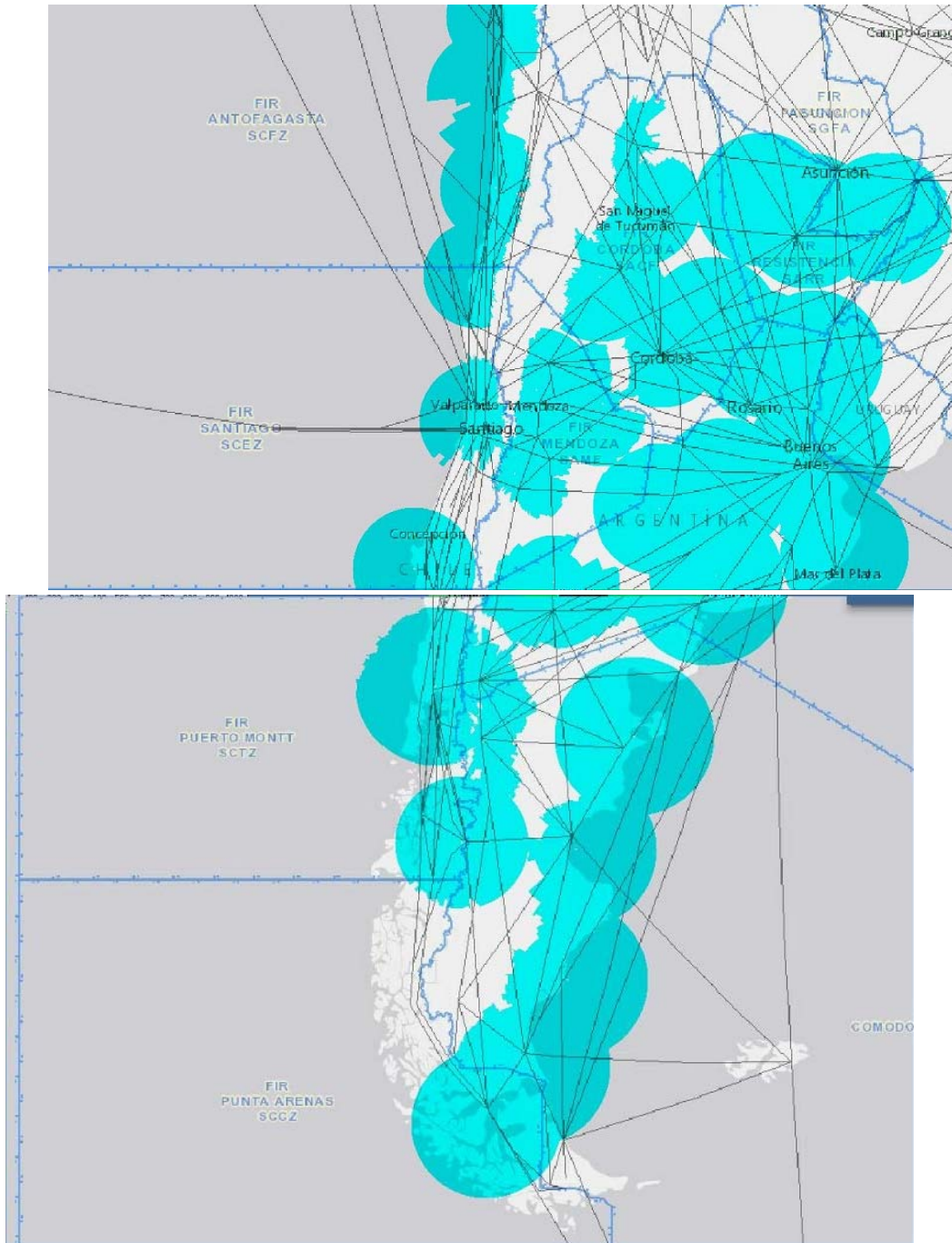


Gráfico No. 14. Argentina-Chile – 15.000 pies

25.000 pies Argentina: 18,58% de cobertura; Chile: 17,55% de cobertura

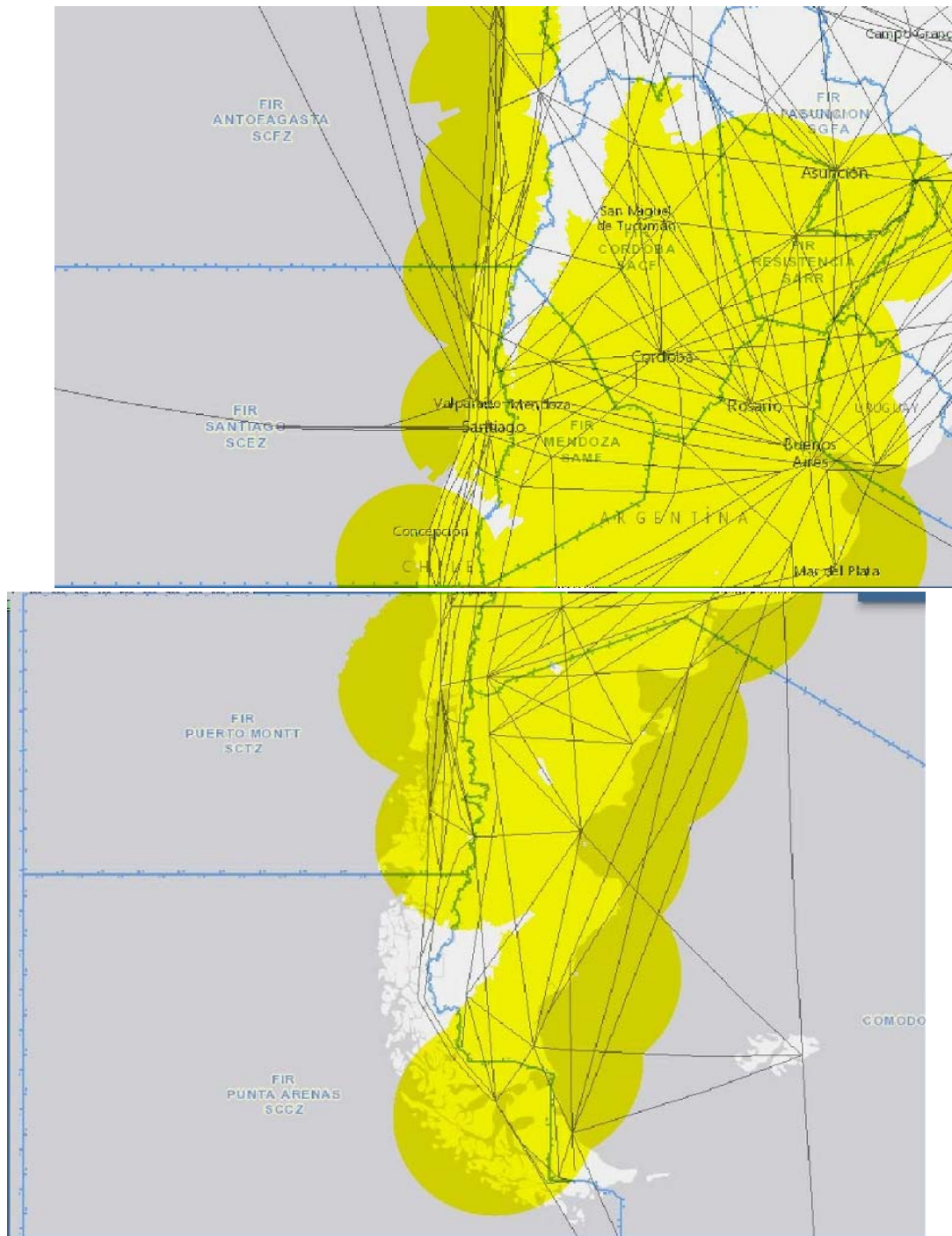


Gráfico No. 15. Argentina-Chile – 25.000 pies

Observaciones Argentina

- a) La cobertura a baja altura (10.000 pies) es un poco más de una décima parte de la FIR, a pesar de la cantidad importante de sensores, sin embargo, no debe perderse de vista que la cobertura es sobre las FIR de todo el país. El valor sigue incrementándose por encima del

nivel inicial, llegando hasta un 18% aproximadamente, a 25.000 pies, y sigue siendo bajo, pero considérese la misma referencia para el porcentaje obtenido.

- b) Por lo que se expone en el literal anterior, no se podrá lograr una cobertura importante en la FIR debido al extenso espacio oceánico existente, en el cual no se podrán instalar sistemas en su superficie.

Observaciones Chile

- a) La cobertura a baja altura (10.000 pies) es menor a una décima parte de la FIR, a pesar de la cantidad importante de sensores, sin embargo y al igual que Argentina, no debe perderse de vista que la cobertura es sobre las FIR de todo el país. El valor sigue incrementándose por encima del nivel inicial, llegando hasta un 18% aproximadamente, a 25.000 pies, que sigue siendo bajo, pero considérese la misma referencia para el porcentaje obtenido.
- b) Por lo que se expone en el literal anterior, no se podrá lograr una cobertura importante en la FIR debido al extenso espacio oceánico existente, en el cual no se podrán instalar sistemas en su superficie.

Guayana Francesa:

Como caso muy especial, su FIR tiene una extensión geográfica de 1'383.199 Km², un área continental de 83.534 Km², y, consecuentemente, un área oceánica de 1'299.665 Km², en donde no es factible instalar sensores de vigilancia en la superficie.



Gráfico No. 16. FIR Cayenne de la Guayana Francesa

Observaciones Guyana Francesa

- a) Aun cuando su territorio continental estuviera cubierto completamente con algunos sensores para vigilancia, es evidente que la cobertura de vigilancia en la FIR no podría ir más allá del 10%, en el mejor de los casos.

Observaciones sobre cobertura

- i) Es evidente que la cobertura con los sensores SSR terrestres para vigilancia y en operación, es el esperado, considerando que dependen de la línea de vista para la detección de una aeronave.

Las variaciones de 10.000 a 25.000 pies de altura sobre el nivel del mar van de menos a más en todos los casos, y esto se explica porque los sensores mencionados requieren de línea de vista para alcanzar a detectar una aeronave.

- ii) En general, se puede concluir que la cobertura con sensores de vigilancia en tierra no es suficiente, en especial para niveles bajo los 15.000 pies. Las operaciones aéreas se ejecutan en todos los niveles de vuelo, por lo que es ideal tener una cobertura completa en todos los niveles.
- iii) En los espacios oceánicos, evidentemente no es factible instalar sensores para vigilancia, por lo que no se tendría cobertura excepto en la parte del océano donde los sensores se encuentren en la costa o una isla, y, aun así, se debe considerar la curvatura de la tierra para tener alcance por la línea de vista desde esa orilla costera o isla.

Existen países como Argentina y Chile que tiene aparentemente una cobertura baja para vigilancia, sin embargo, la enorme extensión de espacio oceánico explica estos porcentajes bajos.

- iv) Todos los sistemas de vigilancia terrestres cumplen un importante papel de vigilancia, pero la cobertura que tienen no es suficiente en casi todos lugares (no al 100%) donde se encuentran instalados, casi no existe en otros sitios y en la parte oceánica no se cuenta con ellos

2.2.2 Integridad de la Información

La integridad de la información de los mensajes de vigilancia está definida por tres tipos de errores que podrían presentarse: errores en el proceso central, correlación de errores y errores espurios.

Sobre los errores descritos no se tienen datos, pues, considerando que los mensajes ADS-B, desde que son transmitidos por la aeronave, la recibe, procesa y transporta AIREON hasta cuando se entregan al usuario mediante canales de datos, no tienen ningún cambio en su contenido, este tipo de parámetro no se aplicará en el presente estudio.

2.2.3 Tiempos de recepción o latencia

El tiempo de recepción requerido por el servicio de vigilancia actual, para visualizar las trazas de las aeronaves y tomar decisiones en el control del tránsito en tiempo real, es de “1” a “4”

segundos como rango de refrescamiento, dependiendo de las características técnicas del sensor utilizado:

- 4 segundos para Radar Secundario de Vigilancia (SSR)

Este tipo de sensor requiere esa cantidad de tiempo para actualizar sus datos en detección (interrogación/respuesta) por el movimiento de antena asociado. Este sistema radar tiene muchos años de vigencia como sensor principal de vigilancia para centros de control de tránsito aéreo, tanto de aproximación como de ruta, y el servicio ha sido satisfactorio en todo momento, por lo tanto, su latencia es aceptable.

- 1 segundo para Multilateración (MLAT)

Este tipo de sensor reduce a 1 segundo el tiempo de actualización en la obtención del dato de una aeronave para propósito de servicios de vigilancia (y MLAT un sistema alternativo al SSR), por lo tanto, se determina que este tiempo de latencia es muy aceptable.

Sin embargo de lo expuesto, y debido al corto tiempo de latencia definido, se debe tener en cuenta que los sistemas de soporte de la MLAT tienen tiempos de procesamiento (cálculo de posición) que podrían añadir algo más a la cantidad de 1 segundo de latencia, por esta razón, debe considerarse 0,5 ó 1 segundo adicional para obtener una latencia más real.

- 1 segundo para la Vigilancia Dependiente Automática por Difusión (ADS-B)

Este tipo de sensor reduce también a 1 segundo el tiempo de actualización para la obtención del dato de vigilancia, en comparación al SSR. Siendo este sensor más eficiente que los dos anteriores, y en vista de que la tendencia a futuro es usarlo en forma masiva, se determina que el tiempo de latencia es adecuado para continuar con su aplicación.

Como en el caso de la MLAT, debido al corto tiempo de latencia definido, se debe también tener en cuenta que los sistemas de soporte para este sensor tienen tiempos de procesamiento que podrían añadir algo más de tiempo hasta la entrega del mensaje de vigilancia al usuario, por esta razón, también debe considerarse 0,5 ó 1 segundo adicional para obtener una latencia más real y práctica.

Observaciones sobre latencia

- i) Los valores de latencia usualmente considerados para los sistemas de vigilancia actuales, van de 1 a 4 segundos y no existe una demanda para otros valores que sea conocida en aeronáutica civil.
- ii) Si ya no tomamos en cuenta equipos mecánicos sino solo sistemas de propagación electromagnética e informáticos, la velocidad de procesamiento es muy rápida en ambos casos, razón por la que el intervalo de tiempo de 1 segundo de tiempo para emitir una señal es muy adecuado. Los sistemas lo puedan manejar fácilmente.

- iii) De todos modos, luego de emitir la señal, se requiere de un tiempo adicional para el proceso de recepción, validación u otro tipo de acción, por lo cual, siempre habrá que añadir un poco más de tiempo. Esto incrementaría la latencia a 1 segundo y más en tiempo.

2.2.4 Disponibilidad del servicio

La disponibilidad del servicio es la cualidad o condición de disponible, esto es, utilizable al momento que sea requerida, sin embargo, y como todos los sistemas de soporte no son infalibles en el tiempo dentro de su operación normal, se tienen dos parámetros estadísticos que indican el comportamiento de esos sistemas de en el tiempo:

Tiempo medio para reparación de fallas (MTTR)

El tiempo medio entre fallas se utilizará para establecer cuál es el tiempo que le toma a un proveedor de servicios, **en promedio**, rehabilitar el servicio si este se ha interrumpido por cualquier circunstancia.

El valor de este parámetro sirva para que el PSNA tome las medidas de contingencia primarias y se prepare para las medidas de contingencia de mayor duración, aunque estas sean las mismas en algunos casos. MTTR promedio de un ADS-B = 20 min.; sistema con varios ADS-B = 30 min.(colocar referencia)

Continuidad de la operación para mantener la visualización

Si bien existe el parámetro MTTR y los centros de vigilancia usualmente trabajan 24x7, es fundamental conocer cuál es el valor del promedio en tiempo que se presentan fallas técnicas que interrumpen el servicio, por lo tanto, es necesario conocer el valor del Tiempo Medio entre Fallas Críticas (MTBCF).

Esto nos permitirá elaborar los planes de contingencia para cada servicio del PSNA, en tiempo. MTBF promedio de un ADS-B = 25.000 horas; sistema con varios ADS-B = 20.000 horas. (colocar referencia)

Observaciones a los parámetros MTTR y MTBCF

- i) Combinando los dos parámetros, se obtiene la disponibilidad total del recorrido del mensaje ADS-B, desde que se emite en el transponder hasta que llega al centro de consumo de datos. Un valor aceptable es 99,99%, sin contar con interrupciones programadas.

2.3 Estudio del ADS-B Satelital

2.3.1 Reseña de la empresa proveedora del servicio ADS-B Satelital

La empresa AIREON, proveedora del servicio ADS-B Satelital, es una empresa que nace de un proyecto conjunto de Nav Canada (Canadá), ENAV (Italia), Naviair (Dinamarca) y la Irish Aviation Authority (Irlanda), que son Proveedores de Servicios para la Navegación Aérea (PSNA), y la empresa Iridium Communications, que provee servicios de telecomunicaciones vía satélite. Su sitio Web tiene como dirección www.aireon.com, en el cual se puede obtener más información sobre el tema.

El objetivo de su servicio: Proveer una capacidad de vigilancia complementaria a la infraestructura de un PSNA, y también incrementar la vigilancia en las áreas con limitada, o con ausencia de cobertura radar. Adicionalmente, el Sistema AIREON recibirá, procesará, filtrará, formateará y validará los mensajes ADS-B recibidos, para entregarlos a los Proveedores de Servicios para la Navegación Aérea (PSNAs), para uso en el Control del Tránsito Aéreo (ATC).

Un esquema del servicio se presenta en el gráfico siguiente:

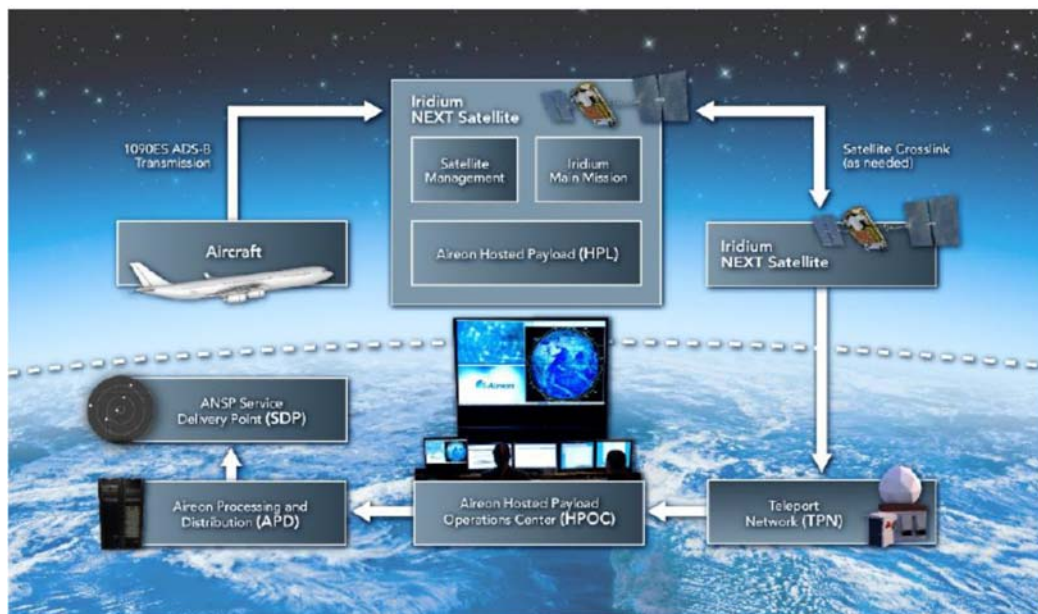


Gráfico No. 17. Red AIREON

2.3.2 Parámetros técnicos que definen el servicio ADS-B Satelital

De acuerdo con la información remitida por la empresa AIREON, se observa que tienen tres indicadores que determinan la calidad del servicio que prestan: Disponibilidad, Latencia y Probabilidad de Actualización, y define valores de referencia.

I. Disponibilidad

La "disponibilidad" se calcula dividiendo el número de reportes de estado dentro del volumen espacial del servicio, durante un período de tiempo en el que está en ejecución normal o degradado ese servicio, por la cantidad total de informes de estado posibles en ese mismo

período de tiempo. Los períodos de mantenimiento planificado no se toman en cuenta en los cálculos de disponibilidad.

Valores de referencia:

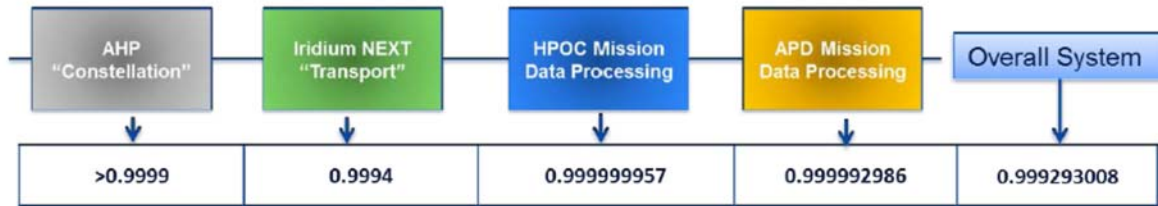


Gráfico No. 18. Disponibilidad ADS-B Sat. (Tomado de AIREON)

Parameter	Source (Standard)	Required Value	Aireon Design Target
Service Volume Availability	ICAO Global Operational Data Link Document (GOLD); April 26, 2013	≥ 0.999	≥ 0.999

Gráfico No. 19. Cumplimiento Disponibilidad (Tomado de AIREON)

II. Latencia

"Latencia" es la cantidad de tiempo necesario para entregar al usuario los datos de interés, desde la interface de entrada del receptor del Sistema AIREON al Punto de Entrega del Servicio (SDP), y corresponde a la duración del procesamiento interno y canales de comunicaciones, a cargo de la empresa.

Valores Referenciales

El Sistema de Latencia de AIREON está diseñado para un tiempo de procesamiento de 1,5 segundos, lo que mejora el requisito de 2,0 segundos especificado en la documentación de Eurocontrol. Cuando se implementa un SDP en una instalación del cliente, AIREON contempla la distribución de los datos hacia el usuario, dando como resultado una latencia total de: ATC SUR Processing (1.5s) + SUR Distribute (0.5s) = 2.0s.

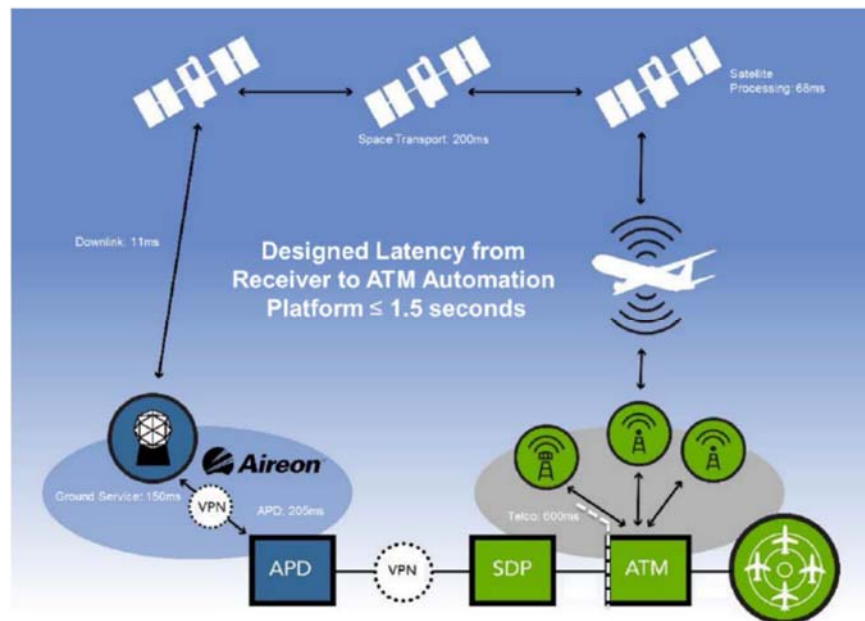


Gráfico No. 20. Latencia en Sistema AIREON (Tomado de AIREON)

Se prevé que la latencia del Servicio de AIREON sea inferior a 1,5 segundos para proveer servicios de separación ATC en ruta y en espacios oceánicos.

Parameter	Source (Standard)	Required Value	Aireon Design Target
Latency	Eurocontrol GEN SUR, Section 3.7.3.1.5	≤ 2.0s (99 th percentile)	≤ 1.5s (99 th percentile) Measurement to ATM Automation

Gráfico No. 21 - Cumplimiento Latencia Eurocontrol (Tomado de AIREON)

III. Probabilidad de Actualización

"Probabilidad de actualización" es la probabilidad de que se reciba al menos un informe ADS-B objetivo en el punto de entrega del servicio, dentro de un período de tiempo requerido. El período

de tiempo requerido para este intervalo de actualización suele ser relativo a un estándar de separación de aeronaves aplicable al volumen del espacio aéreo donde se presta el servicio. Valores referenciales:

Parameter	Source (Standard)	Required Value	Aireon Design Target
Probability of Update	EUROCAE Technical Specification for an 1090 MHz Extended Squitter ADS-B Ground System, ED-129B	≥ 96% for an Update Interval of 8 seconds (for low density en route airspace)	≥ 96% for an Update Interval of 8 seconds (for low density en route airspace)

Gráfico No. 22. Cumplimiento Actualización Eurocae (Tomado de AIREON)

IV. Cobertura

La empresa AIREON establece que en virtud de la disponibilidad de una constelación de satélites de baja altura que ilumina todo el planeta, la cobertura geográfica que tendría su servicio es del 100%, pues los transponders con capacidad ADS-B (señales emitidas desde las aeronaves) en todo el espacio aéreo, siempre habría línea de vista entre ellos, esto es Satélite-Transponder.

Sin embargo de lo anterior, los documentos de AIREON expresan que garantizan la cobertura con niveles de 10.000 pies de altura hacia arriba.

Para el efecto anterior, la empresa determina también las características técnicas mínimas que deben cumplir los transponder con capacidad ADS-B Out.

2.3.3 Condiciones mínimas para el ADS-B de abordó

Para determinar las mínimas condiciones técnicas que deben cumplir los transponders con capacidad ADS-B, la empresa AIREON toma en cuenta las métricas de Latencia y Probabilidad de Actualización, que tienen dependencias en el equipamiento de la aeronave y el nivel de vuelo:

- Aviónica debe cumplir con RTCA DO-260B / EUROCAE ED-102A (Nota: los formatos de mensaje de versiones anteriores a DO-260 son compatibles)
- Antena montada en la parte superior y omnidireccional en azimut
- Equipo Transponder ADS-B clase (potencia de transmisión) A1, B1 o superior - Mínimo 125W en la antena

Estas tres métricas de funcionamiento son fundamentales para proporcionar servicios de separación ATC utilizando ADS-B satelital.

2.3.4 Red Telecomunicaciones para la Región SAM

Considerando que una parte del proceso de entrega de los mensajes ADS-B a los usuarios, a través de la empresa AIREON, requieren de una red de telecomunicaciones adecuada, y que la Región SAM dispone de una red de datos denominada REDDIG que tiene una cobertura muy importante para llegar a los centros de consumo de los datos de vigilancia, AIREON estima que la plataforma puede servir dentro del proceso ADS-B Satelital. Al efecto, establece unos parámetros mínimos de calidad y son:

- ✓ Disponibilidad del Sistema > 0.999
- ✓ Aceptación de Datos Multicast
- ✓ Entrega de datos en forma automática con baja latencia
- ✓ Segregación de datos de vigilancia para cada PSNA conectado

De la evaluación efectuada a la REDDIG II y analizada por AIREON, la REDDIG cumple con estos parámetros de actuación.

2.3.5 Ancho de banda de datos ADS-B estimados por AIREON para la Región

También ha estimado el ancho de banda total que podría ser necesario en caso de que todos los Estados se suscriban a los servicios de datos ADS-B basados en el espacio, para uso completo tanto en espacio aéreo terrestre como oceánico, espacio aéreo inferior y superior. La Tabla 3 muestra el ancho de banda potencial total del uso del sistema por los Estados, estimado en niveles de tráfico aéreo en el año 2030, y suma 2,061 Kbps durante un período de 24 horas.

Country	FIR	CAT021		CAT025		CAT238		CAT253		Total	
		Mean (kbps)	Max (kbps)	Mean (kbps)	Max (kbps)	Mean (kbps)	Max (kbps)	Mean (kbps)	Max (kbps)	Mean (kbps)	Max (kbps)
Argentina	SACF	8	21	0	1	0	19	6	32	14	73
Argentina	SARR	3	11	0	1	0	17	6	32	9	61
Argentina	SAMF	9	14	0	1	0	17	6	32	15	64
Argentina	SAEF	15	29	0	1	0	39	6	32	21	101
Argentina	SAVF	6	14	0	1	0	85	6	32	12	132
Bolivia	SLLF	6	16	0	1	0	21	6	32	12	70
Brazil	SBAZ	24	48	0	1	0	43	6	32	30	124
Brazil	SBRE	23	43	0	1	0	30	6	32	29	106
Brazil	SBBS	53	93	0	1	0	27	6	32	59	153
Brazil	SBCW	29	50	0	1	0	23	6	32	35	106
Chile	SCFZ	8	18	0	1	0	30	6	32	14	81
Chile	SCEZ	10	23	0	1	0	26	6	32	16	82
Chile	SCTZ	9	10	0	1	0	23	6	32	15	66
Chile	SCCZ	9	9	0	1	0	39	6	32	15	81
Colombia	SKEC	10	28	0	1	0	17	6	32	16	78
Colombia	SKED	26	51	0	1	0	23	6	32	32	107
Ecuador	SEGU	6	18	0	1	0	20	6	32	12	71
Guyana	SYGC	9	13	0	1	0	16	6	32	15	62
Paraguay	SGFA	9	9	0	1	0	17	6	32	15	59
Peru	SPIM	19	34	0	1	0	36	6	32	25	103
Suriname	SMPM	9	11	0	1	0	16	6	32	15	60
Uruguay	SUEO	5	14	0	1	0	30	6	32	11	77
Venezuela	SVZM	10	24	0	1	0	22	6	32	16	79

Country	FIR	CAT021		CAT025		CAT238		CAT253		Total	
		Mean (kbps)	Max (kbps)	Mean (kbps)	Max (kbps)	Mean (kbps)	Max (kbps)	Mean (kbps)	Max (kbps)	Mean (kbps)	Max (kbps)
French Guyana	SOOO	9	9	0	1	0	23	6	32	15	65

Tabla No. 3. Ancho de Banda en la REDDIG para servicio ADS-B Sat

2.4 Costos implementación para la distribución de datos ADS-B

AIREON cobra la entrega de datos de vigilancia ADS-B a los ANSP, basándose en los siguientes componentes:

- Horas de vuelo sobre el espacio aéreo de la FIR que corresponde a un PSNA
- Densidad del tráfico que sobrevuela el espacio aéreo en la FIR/PSNA
- Área del espacio aéreo: oceánica o terrestre

El cargo por vuelo, AIREON lo calcula en función del tiempo (horas de vuelo) que un avión equipado con ADS-B cruza el volumen de servicios contratados del ANSP. Tal volumen de servicio puede ser el espacio aéreo completo de ANSP, una o más FIR dentro de su espacio aéreo controlado o un espacio aéreo definido por coordenadas. El cargo se inicia desde el momento en que la aeronave ingresa el volumen de servicio contratado hasta el momento en que la aeronave abandona el volumen de servicio contratado.

Luego, AIREON proporciona servicios de datos de vigilancia para el volumen de servicio contratado + 50 NM fuera de este espacio aéreo, para fines de planificación. Los costos varían entre los ANSP ya que cada espacio aéreo tiene su volumen de tráfico y los ANSP pueden querer suscribirse a partes del espacio aéreo o a todo su espacio aéreo controlado.

Las tarifas por hora de vuelo aplicadas a cada vuelo equipado con ADS-B son consistentes a nivel mundial y se han definido en función de la densidad del tráfico en torno al volumen del servicio.

Por razones de confidencialidad, las tarifas por hora, AIREON no las puede compartir, pero como ejercicio práctico, se coloca en este estudio la siguiente tabla elaborada por la empresa que compara el costo de los servicios de datos de AIREON para vuelos de 1.000 Km y 500 Km, con los costos de los servicios de navegación aérea de los PSNA de la Región SAM.

Un ejemplo de los costos por Km de vuelo calculados por AIREON para los países que se ha tomado como referencia son:

Estado/ANSP	Cobro por 500 Km	Cobro por 1.000 km
Ecuador	\$227.66	\$455.32
Colombia	\$143.48	\$286.96
Perú	\$165.00	\$330.00
Guyana Francesa	\$226.48	\$452.97

Gráfico No. 23 - Ejemplos de costos por Km volado (Tomado de AIREON)

3. Factibilidad de uso del servicio

Conforme los parámetros mínimos requeridos para sistemas de vigilancia y los datos recibidos del proveedor de servicios AIREON, es posible definir la factibilidad de uso del servicio del ADS-B Satelital.

3.1 Proveedor

3.1.1 *Empresa proveedora del servicio y región SAM*

El servicio de vigilancia tiene muchísima influencia en la prestación de los servicios para la navegación aérea, particularmente en la seguridad operacional y en la eficiencia de las operaciones aéreas, por lo tanto, es muy importante asegurarse de que el soporte de sistemas/proveedores de datos de vigilancia para la visualización de la situación del tránsito aéreo tenga un nivel de servicio adecuado a los requerimientos del control y guía en cada sitio y cada región. En este caso, la Región de Sudamérica y en cada país integrante de la misma.

A más de los sistemas de vigilancia que son conocidos y que se han desarrollado en los últimos 10 años, ha surgido una nueva modalidad de prestación de servicios para generar datos de vigilancia que están basados en los mensajes ADS-B que emiten las aeronaves que tienen esta capacidad. Esta modalidad es la provisión de datos para vigilancia al recoger mensajes ADS-B vía satélite y entregarla a usuarios interesados mediante canales de datos. La empresa con esta iniciativa se denomina AIREON.

La modalidad, luego del análisis técnico, se considera factible por las pruebas realizadas a la fecha y de hecho ya se está integrando en 11 PSNA. Por otra parte, la red de satélites para recolectar los mensajes ADS-B se completará en octubre del año 2018 y están por finalizar el proceso de certificación de EASA.

Con estos antecedentes, cabe indicar que el servicio existe y que la empresa está a disposición de usuarios interesados, por lo que se hará un análisis comparativo de lo que requiere un ANSP y lo que se ofrece por parte de AIREON.

3.1.2 *Capacidad, Latencia y Disponibilidad del servicio.*

Los parámetros clave de rendimiento a utilizarse son las siguientes:

- ***Capacidad o cobertura de servicio en el espacio aéreo***

Un sistema que pueda detectar a todas las aeronaves en todo el subcontinente y más allá, además de proveer un servicio continuo y de calidad, efectivamente sería conveniente para la aeronáutica civil y cada uno de los países. En particular en las zonas que actualmente no tienen una cobertura adecuada.

- ***Tiempos de respuesta en el proceso de traslado de la información o latencia***

La información requerida debe estar en forma oportuna en el centro de consumo de datos, en este caso, un centro de control del tránsito aéreo. La información de la posición de una aeronave debe presentarse en este centro, prácticamente en tiempo real.

- ***Disponibilidad de la información***

Todos los servicios/sistemas deben estar disponibles todo el tiempo requerido por la aeronáutica civil (24x7), por seguridad operacional. Sin embargo, ningún equipo o sistema es infalible y en ocasiones existen cortes por mantenimientos programados o mejoras al sistema en uso.

Cuadro comparativo:

No.	Descripción	Métrica	Valor Esperado	Cumplimiento AIREON
1	Cobertura 10.000	%	>75	100
2	Cobertura 15.000	%	>85	100
3	Cobertura 25.000	%	>95	100
4	Latencia	segundos	<2 segundos	2
5	Disponibilidad	%	> 99,98	99,99

Tabla No. 4 Valores de los parámetros considerados como fundamentales

Se espera entonces con ellos entonces, tener un apoyo para la:

- seguridad operacional
- ambiente
- rentabilidad
- eficiencia de los vuelos
- flexibilidad
- posibilidad de predecir
- acceso y equidad
- participación y colaboración
- interfuncionalidad

3.1.3 Proceso de datos proveedor - usuario ANSP

La experiencia de AIREON es reciente, pero existe, de acuerdo con la información recibida, por lo que cada país debe establecer fundamentalmente sus necesidades de cobertura. Las otras cuestiones técnicas son propias del servicio de AIREON y son aceptables.

También debe tomarse en cuenta que, mientras mayor sea el espacio aéreo considerado para la cobertura con ADS-B Satelital, mayor es la homogeneidad de la información, aunque esto debe tener pruebas experimentales muy exigentes pues igualmente la infraestructura de soporte aumenta y nada debe quedar sin probarse en forma adecuada. En particular las redes de telecomunicaciones.

Si existe algún país que inicie la explotación de este servicio, será fundamental que comparta su experiencia al resto de la Región, pero no hay que olvidar que la primera parte del proyecto será que todas las aeronaves en el espacio aéreo tengan capacidad ADS-B Out.

3.2 Explotadores

3.2.1 Disponibilidad de aviónica con capacidad ADS-B

No se disponen de datos exactos en este tema, en la Región SAM habría un 40% de aeronaves equipadas con un transponder con capacidad ADS-B Out.

Si los explotadores aeronáuticos (aeronaves en general) en un país, en su mayoría no tiene la capacidad ADS-B en sus transponders, esta condición no permitiría aprovechar un servicio ADS-B satelital a corto plazo, y habría que trabajar bastante en estos momentos, no dejar su inicio para luego, a fin de contar con las bondades del servicio ADS-B y eventualmente del ADS-B satelital. Esto implica que todavía se tendría que depender de radares secundarios o multilateración, aunque estos sean poco eficientes en comparación con la técnica ADS. Un buen término de actuación para contar con la regulación y exigencia del uso de transponders con capacidad ADS-B es 2 años.

3.2.2 Regulaciones de la Administración Aeronáutica.

Se debe trabajar intensamente en perfeccionar las regulaciones nacionales y los planes de exigencia para el uso del ADS-B en todas las aeronaves, en particular las de aviación general.

4. Riesgos asociados

También es fundamental considerar los riesgos que puedan ser generados cuando el servicio tiene algún imprevisto en sus condiciones normales de funcionamiento, para lo cual es necesario anular o mitigar los efectos de esos problemas. Sobre este tema, se establece lo siguiente:

4.1 Interrupción del servicio

Descripción. Falta del servicio, en forma total

Mitigación. Una o más estaciones ADS-B del PSNA o dos estaciones del proveedor para proporcionar directamente los datos de los sensores a los centros de consumo.

4.2 Cobertura parcial

Descripción. Falta de cobertura, en forma parcial

Mitigación. Una o más estaciones ADS-B del PSNA o dos estaciones del proveedor para proporcionar directamente los datos de los sensores a los centros de consumo..

4.3 Integridad de los datos

Descripción. Los datos entregados son rechazados por falta de integridad

Mitigación. Una o más estaciones ADS-B del PSNA o dos estaciones del proveedor para proporcionar directamente los datos de los sensores a los centros de consumo.

4.4 Períodos amplios de interrupciones

Descripción. Los períodos de interrupción son muy largos

Mitigación. Una o más estaciones ADS-B del PSNA o dos estaciones del proveedor para proporcionar directamente los datos de los sensores a los centros de consumo.

4.5 No disponibilidad de transponders ADS-B ES 2020 en aeronaves

Descripción. Las aeronaves no disponen de un equipo mínimamente adecuado

Mitigación 1. Regulaciones para seguridad operacional

Mitigación 2. Aplicación de vigilancia por sectores

4.6 Falla última milla de los canales de datos para entrega de información

Descripción. Fallas en la última milla de los canales de datos

Mitigación. Los canales de datos tendrán infraestructura redundante en todos los casos

4.7 Costos del servicio no rentables para el PSNA

Descripción. Costos elevados para algún PSNA

Alternativa. Contrato por cobertura parcial, para zonas con alto tráfico.

5. Conveniencia del uso del servicio

5.1 Costos referenciales

No se dispone de costos desglosados, pues la empresa AIREON no los proporciona. Pero para el desarrollo de este estudio si ha facilitado un costo global de los siguientes países: Chile, Colombia, Ecuador, Panamá, Perú, por la costa del Pacífico y Guayana Francesa, y son:

País	Total anual por 15 años (mayor costo) US\$	Total anual por 15 años (menor costo) US\$	Diferencia US\$
CHILE	2.022.467	1.915.776	106.690
COLOMBIA	1.922.467	1.815.776	106.690
ECUADOR	722.467	615.776	106.690
PERU	2.122.467	2.015.776	106.690

Tabla No. 4 – Costos servicio ADS-B Satelital, sin y con REDDIG

Nota 1. Los costos de la Tabla anterior, incluyen el espacio aéreo total del país (continental + oceánica) y su(s) FIR(s) y el costo de las redes de telecomunicaciones.

Nota 2. La diferencia de costos solo tiene relación con utilizar una red de telecomunicaciones independiente (mayor costo recurrente) o la REDDIG.

5.2 Costos/cobertura ADS-B Satelital versus costos SSR

Los costos proporcionados por la empresa AIREON, relacionados por cada Km2 de la FIR y cobertura.

País	ADS-B Sat.	Costo Servicio (US\$)	% Cobertura FIR (10-15-25 mil pies)	Costo anual/ Km2 FIR
Chile	1	2.022.467	100-100-100	0,20
Colombia	1	1.922.467	100-100-100	1,17
Ecuador	1	722.467	100-100-100	0,77
Perú	1	2.122.467	100-100-100	0,60

Tabla 5. Costo del servicio de vigilancia con servicio ADS-B Sat

Ejercicio de costos con SSR's - Ecuador

En este país se disponen de 7 radares a US\$ 1'500.000 cada uno (valor referencial), dan un total de US\$ 10'500.000 como inversión y, si establecemos un 20% por mantenimiento en toda su vida útil, tenemos un total de 12'600.000.

La vida útil de un radar, con equipos de calidad, es de 15 años. Con este dato y si repartimos por año estos costos, el resultado es: US\$ 840.000 anual. Tomando los datos de cobertura, que son diferentes para tres altitudes, se nota que esa cantidad de recursos financieros alcanzan para tener una cobertura parcial y no total, en particular en la zona oceánica. Evidentemente esta cobertura se

explica por las limitaciones de la línea de vista y porque las instalaciones solo están ubicadas en la superficie terrestre.

Por otra parte, si el servicio del ADS-B Satelital tiene el 100% de cobertura y el costo anual es de US\$ 722.467, se aprecia que hay una ventaja por cobertura, y un menor costo recurrente por el servicio, sin asumir costos por mantenimiento, logística de operación, actualizaciones tecnológicas y ubicaciones remotas. Se presenta un análisis más detallado del tema mas adelante.

La desventaja que podría generarse es depender de un solo proveedor, y por lo que se conoce, tampoco existe otro, sin embargo, se pueden tomar medidas de mitigación o definir planes muy detallados de contingencia si hay interrupciones del servicio.

Otra desventaja, ahora mismo, y que también debe tomarse en cuenta es que habrá un costo inicial para los explotadores aeronáuticos que no dispongan de transponders con capacidad ADS-B Out. Esto tomará algún tiempo en resolverse, sea para ADS-B terrestre como ADS-B satelital.

A continuación, se exponen cuadros con los casos tomados como referencia:

País	No. SSR	Costo Equipos (US\$)	Costo Total (+ 20%)	Costo Anual (15 años)	% Cobertura FIR (10-15-25 mil pies)	Costo anual/ Km2 FIR
Chile	11	16.500.000	19.800.000	1.320.000	9-12-18	19,40
Colombia	15	22.500.000	27.000.000	1.800.000	37-49-78	4,26
Ecuador	7	10.500.000	12.600.000	840.000	27-46-74	10,97
Perú	8	12.000.000	14.400.000	960.000	13-20-43	5,75

Tabla 6A. Costo del servicio de vigilancia con sensores tipo SSR – 10.000 pies

País	No. SSR	Costo Equipos (US\$)	Costo Total (+ 20%)	Costo Anual (15 años)	% Cobertura FIR (10-15-25 mil pies)	Costo anual/ Km2 FIR
Chile	11	16.500.000	19.800.000	1.320.000	9-12-18	14,55
Colombia	15	22.500.000	27.000.000	1.800.000	37-49-78	3,22
Ecuador	7	10.500.000	12.600.000	840.000	27-46-74	6,44
Perú	8	12.000.000	14.400.000	960.000	13-20-43	3,73

Tabla 6B. Costo del servicio de vigilancia con sensores tipo SSR – 15.000 pies

País	No. SSR	Costo Equipos (US\$)	Costo Total (+ 20%)	Costo Anual (15 años)	% Cobertura FIR (10-15-25 mil pies)	Costo anual/ Km2 FIR
Chile	11	16.500.000	19.800.000	1.320.000	9-12-18	9,70
Colombia	15	22.500.000	27.000.000	1.800.000	37-49-78	2,02
Ecuador	7	10.500.000	12.600.000	840.000	27-46-74	4,00
Perú	8	12.000.000	14.400.000	960.000	13-20-43	1,74

Tabla 6C. Costo del servicio de vigilancia con sensores tipo SSR – 25.000 pies

De los valores del cuadro inicial (Tabla No. 5 - AIREON), y los valores de las Tablas No. 6 que contemplan sensores SSR, se puede observar que el valor del costo anual por Km2 de la FIR con sistemas terrestres es mayor que el espacial en todas las alturas consideradas y en todos los países. Con ello podemos concluir que el servicio ADS-B Satelital es conveniente desde el punto de vista financiero, respecto al uso de los SSR.

Pero no debe perderse de vista también, que mientras más altura tenga la cobertura analizada, es menor el valor del costo anual por Km2 de los SSR, pues se incrementa el porcentaje de cobertura como tendencia, sin embargo, no puede esperarse que la cobertura mencionada llegue a valores mayores al 85-90% a mayores alturas, pues los sistemas terrestres tiene una gran dependencia de la línea de vista, obstáculos geográficos y límites de potencia de los equipos de soporte, además de la curvatura de la tierra. Obsérvese entonces que la principal afectación de cobertura efectivamente está en bajas alturas, como se desprende de los cuadros presentados.

5.3 Costos/cobertura versus costos ADS-B Terrestre

Los costos proporcionados por la empresa AIREON, relacionados por cada Km2 de la FIR y cobertura. La Tabla que se presenta a continuación es igual a la Tabla 5.

País	ADS-B Sat.	Costo Servicio (US\$)	% Cobertura FIR (10-15-25 mil pies)	Costo anual/ Km2 FIR
Chile	1	2.022.467	100-100-100	0,20
Colombia	1	1.922.467	100-100-100	1,17
Ecuador	1	722.467	100-100-100	0,77
Perú	1	2.122.467	100-100-100	0,60

Tabla 7. Costo del servicio de vigilancia con servicio ADS-B Sat

Ejercicio de costos con estaciones terrestres ADS-B - Ecuador

Suponiendo que Ecuador tuviera 7 estaciones ADS-B a US\$ 300.000 cada una, esto nos da un total de US\$ 2'100.000 como inversión y si establecemos un 20% por mantenimiento en toda su vida útil, tenemos un total de US\$ 2'520.000. La vida útil de un equipo ADS-B, con equipos de calidad, podría estar en 10 años. Y si repartimos por año estos costos, el resultado es: US\$ 252.000

Si tomamos los datos de cobertura, que serían similares a la de los radares, para tres altitudes, igualmente se nota que esa cantidad de recursos financieros alcanzan para tener una cobertura parcial y no total, en particular en la zona oceánica. Evidentemente esto se explica por las limitaciones de la línea de vista y porque las instalaciones están ubicadas en la superficie terrestre, igual que en el caso de contar con sistemas SSR.

Por otra parte, si el servicio del ADS-B Satelital tiene el 100% de cobertura y el costo anual es de US\$ 500.000, se aprecia que el costo financiero anual es mayor, aunque hay una ventaja significativa por cobertura, pero sin asumir costos por mantenimiento, logística de operación, actualizaciones tecnológicas y ubicaciones remotas. Se presenta un análisis más detallado del tema más adelante.

El otro lado del caso es depender de un solo proveedor, y por lo que se conoce tampoco existe otro, sin embargo, se pueden tomar medidas de mitigación o definir planes muy detallados de contingencia si hay interrupciones del servicio.

A continuación, se exponen cuadros con los casos tomados como referencia:

País	No. ADS	Costo Equipos (US\$)	Costo Total (+ 20%)	Costo Anual (10 años)	% Cobertura FIR (10-15-25 mil pies)	Costo anual / Km2 FIR
Chile	11	3.300.000	3.960.000	396.000	9-12-18	5,82
Colombia	15	4.500.000	5.400.000	540.000	37-49-78	1,28
Ecuador	7	2.100.000	2.520.000	252.000	27-46-74	3,29
Perú	8	2.400.000	2.880.000	288.000	13-20-43	1,72

Tabla 8A. Costo del servicio de vigilancia con sensores terrestres ADS-B / 10.000 pies

País	No. ADS	Costo Equipos (US\$)	Costo Total (+ 20%)	Costo Anual (10 años)	% Cobertura FIR (10-15-25 mil pies)	Costo anual / Km2 FIR
Chile	11	3.300.000	3.960.000	396.000	9-12-18	4,36
Colombia	15	4.500.000	5.400.000	540.000	37-49-78	0,97
Ecuador	7	2.100.000	2.520.000	252.000	27-46-74	1,93
Perú	8	2.400.000	2.880.000	288.000	13-20-43	1,12

Tabla 8B. Costo del servicio de vigilancia con sensores terrestres ADS-B / 15.000 pies

País	No. ADS	Costo Equipos (US\$)	Costo Total (+ 20%)	Costo Anual (10 años)	% Cobertura FIR (10-15-25 mil pies)	Costo anual / Km2 FIR
Chile	11	3.300.000	3.960.000	396.000	9-12-18	2,91
Colombia	15	4.500.000	5.400.000	540.000	37-49-78	0,61
Ecuador	7	2.100.000	2.520.000	252.000	27-46-74	1,20
Perú	8	2.400.000	2.880.000	288.000	13-20-43	0,52

Tabla 8C. Costo del servicio de vigilancia con sensores terrestres ADS-B / 25.000 pies

De los valores del cuadro inicial (Tabla No. 7 - AIREON), y los valores de las Tablas No. 8 que contemplan sensores ADS-B terrestres, se puede observar que el valor del costo anual por Km2 de la FIR con sistemas terrestres varía en todas las alturas consideradas y en todos los países, en relación con el servicio de ADS-B satelital. Por ello, es necesario analizar todos los casos, alturas y países, para concluir que el servicio ADS-B Satelital es conveniente o no, desde el punto de vista financiero, respecto al uso de los ADS-B terrestre.

Pero no debe perderse de vista también como en el caso del análisis de los sistemas SSR, que mientras más altura tenga la cobertura analizada, es menor el valor del costo anual por Km2 de los ADS-B terrestre, pues se incrementa el porcentaje de cobertura como tendencia, sin embargo, no puede esperarse que la cobertura mencionada llegue a valores mayores al 85-90% a mayores alturas, pues los sistemas terrestres tiene una gran dependencia de la línea de vista, obstáculos geográficos y límites de potencia de los equipos de soporte, además de la curvatura de la tierra. Obsérvese entonces que la principal afectación de cobertura efectivamente está en bajas alturas, como se desprende de los cuadros presentados.

Observaciones Generales:

- Los sistemas SSR y ADS-B terrestres, básicamente alcanzan la misma cobertura en el espacio aéreo.
- El servicio ADS-B tiene mayor cobertura que los sistemas terrestres SSR y ADS-B, prácticamente el ADS-B satelital tiene una cobertura del 100% en el ámbito mundial.
- Los costos si se utilizan sistemas SSR, en relación con los costos por ADS-B satelital, tanto globalmente como el costo por Km² cubierto, son mayores con los sistemas terrestres.
- Los costos, si se utilizan sistemas ADS-B terrestre en relación con los costos por ADS-B satelital, globalmente son menores que los de los sistemas terrestres. Sin embargo, el costo por Km² varía por altura y país, por lo que es necesario hacer un análisis particular en cada caso.
- En general, lo que se recomienda tomar ya en consideración el uso del ADS-B, tanto terrestre como satelital, con un estudio previo de alturas y costos.

6. Consideraciones generales para la contratación del servicio

6.1 Determinar las áreas con sensores de vigilancia y sin sensores de vigilancia para las certificaciones de los transponders

Es necesario que todos los países o la región en general, observen y analicen el cambio significativo que tiene relación con la cobertura al 100% que ofrece AIREON y en todo el espacio aéreo considerado, comparada con el servicio actual basado en sistemas instalados en superficies terrestres que en el mejor de los casos llega al 80%.

La condición descrita es muy ventajosa, pero tiene un requisito muy significativo también, que el 100% de las aeronaves deben tener un transponder con capacidad ADS-B Out.

También es necesario certificar el servicio de la empresa desde el punto de vista técnico, a fin de asegurarse de la cobertura ofrecida, en particular, y el cumplimiento de los parámetros de latencia y disponibilidad.

6.2 Canales de datos y de coordinación

Otra condición fundamental es considerar las redes de telecomunicaciones que llevarían los datos de vigilancia a los centros de consumo. Estas deben ser redundantes y demostrar no solo integridad sino continuidad en el servicio, ya sea que las proporciones AIREON o utilizando redes independientes

6.3 Acuerdo de Nivel de Servicio

El Acuerdo de Nivel de Servicio debe ser el documento básico para la contratación de servicio de AIREON, en su parte técnica.

El documento debe tener como premisas de servicio, las siguientes (tomado del *Doc. 9883 “Manual sobre la actuación mundial del sistema de navegación aérea” OACI*):

- Seguridad operacional;
 - Cobertura total del espacio aéreo para minimizar el riesgo de incidentes o accidentes
 - Mayor facilidad para el control del tránsito aéreo
- Capacidad;
 - Teóricamente, cobertura total del espacio aéreo, por lo tanto, mayor capacidad de la herramienta para el control del tránsito aéreo
- Eficiencia de los vuelos;
 - Menor tiempo de operación aérea
- Servicios y procedimientos;

- Mayores facilidades para planificar previamente las operaciones aéreas, debido a minimización de tiempo de las operaciones
- Posibilidad de predecir;
- Mayor cobertura y fiabilidad de la herramienta para el control del tránsito aéreo, permite mayor utilización del espacio aéreo
- Flexibilidad;
- Mayor cobertura y fiabilidad de la herramienta para el control del tránsito aéreo, permite más flexibilidad.
- Ambiente;
- Menos estaciones, equipos e infraestructura civil
 - Menor tiempo de operación aérea
- Rentabilidad;
- Menos tiempo en la operación, haría más rentable la explotación comercial o menores costos por servicios para la navegación aérea.
 - Tercerización de la señal ADS-B minimizaría (por estudio previo) los costos y ciertos riesgos por administrar el equipamiento
- Recursos humanos;
- Menos horas-hombre para las actividades técnicas
- Reglamentación y normalización.
- Regulación existente

Para el desarrollo del documento de Acuerdo de Nivel de Servicio (ANS), además de las premisas de la lista anterior, se pidió información sobre el tema a la empresa AIREON. La información recibida no detalla los puntos del acuerdo sino la información general y de principios como:

- Servicio Operacional.
- Detalle de las características del servicio y sus parámetros de actuación
 - Reportes de fallas/interrupciones, tiempos de respuesta y responsables de resolver las fallas
 - Protocolos para las comunicaciones entre niveles de usuario y nivel gerencial
 - Coordinación para revisiones de rutina en tiempos previstos.

— Calidad del Servicio.

- Definición cierta de los parámetros del servicio y estadísticas mensuales del mismo
- Remediación de los parámetros si estos se degradan
- Procedimiento para cambios en el nivel del servicio

— Obligaciones y Responsabilidades de Proveedor y Cliente.

- Listas de personas con sus respectivos datos de contacto, tanto del usuario como del proveedor, como responsables de las acciones previstas o aleatorias para que el servicio cumpla con los parámetros de actuación.

Debido a lo que se expone, el ANS dependerá del alcance del servicio solicitado por el cliente y el alcance del servicio que pueda proporcionar la empresa AIREON.

Por otra parte, la empresa proveedora del servicio, debe pasar pruebas de cobertura, latencia, disponibilidad, además de apoyar estadísticamente el determinar si las condiciones del ATC mejoraron en cada sitio donde prestan su servicio.

7. Recomendaciones para la Región

7.1 Técnica

- Es factible el uso del servicio de AIREON y mejoraría las condiciones actuales de vigilancia por la cobertura que se alcanzaría, siempre que demuestre el cumplimiento de los parámetros mínimos del servicio propuesto, tanto de la recuperación del mensaje ADS-B en todo tiempo y en todo lugar, así como el transporte de este a través de redes de telecomunicaciones confiables.
- El aprovechamiento del servicio será efectivo, siempre que todas las aeronaves cuenten con capacidad ADS-B en sus transponders, caso contrario, no es práctica su total aplicación, hasta que se cumpla con la condición mencionada para las aeronaves. Aunque una alternativa puede darse si se aplica el servicio en un espacio aéreo segregado, donde existe la seguridad de que todas las aeronaves disponen de transponder con capacidad ADS-B Out.
- La regulación y la planificación para que la aviónica tenga la capacidad ADS-B, es de ejecución inmediata si se desea tener los servicios ADS-B terrestre o satelital a corto plazo, debido al limitado número de aeronaves con la aviónica que se menciona, en la región SAM.
- Cabe destacar que las áreas con rutas continentales a baja altura (menos de 15.000 pies) no tendrán buenas coberturas con sensores terrestres, debido a la orografía, pues siempre habrá una dependencia de estos de la línea de vista para detectar una aeronave. Las necesidades prácticas de cobertura deben ser analizadas por cada sector y Estado.

Esta recomendación, en algunos casos, debe ser también analizada para alturas mayores a 15.000 pies.

- Respecto a los espacios oceánicos, es evidente la importancia de contar con datos de las aeronaves que operan sobre estos sitios (esto también lo proporciona AIREON), sin embargo, debe analizarse el tráfico actual y futuro. Aunque los PSNA deberían contar con este servicio por seguridad operacional.
- Cabe indicar también que la empresa puede prestar sus servicios en espacios aéreos específicos definidas por el PSNA, no necesariamente en toda la FIR. Esta flexibilidad también debe analizarse por parte de los responsables del control del tránsito aéreo, en conjunto con los responsables de los sistemas de vigilancia, para maximizar la eficacia de la capacidad de vigilancia

7.2 Eficiencia

Anexo 1

Número de sistemas SSR en la Región SAM

<i>No.</i>	<i>País</i>	<i>Número de SSR</i>
1	ARGENTINA	25
2	BOLIVIA	1
3	BRASIL	69
4	CHILE	10
5	COLOMBIA	15
6	ECUADOR	7
7	FRENCH GUIANA	0
8	GUYANA	0
9	PANAMÁ	3
10	PARAGUAY	8
11	PERU	8
12	SURINAME	0
13	URUGUAY	2
14	VENEZUELA	10

<i>TOTAL</i>	<i>158</i>
---------------------	-------------------

Anexo 2

Características según ISO 13236 (RD 23). EUROCONTROL. Specification for ATM Surveillance System Performance (Volume 1)

El marco ISO 13236 ([RD 23]) define 8 cualidades genéricas de las características del servicio, que luego se refinan a fin de reflejar correctamente las características principales de los sistemas de vigilancia ATM, de las cuales se toman como referencia a 4 de ellas (no en el orden de la ISO):

- **Capacidad:** las características relacionadas con la capacidad representan la capacidad de proporcionar un cierto número de unidades de servicio a los usuarios.
 - ✓ **La capacidad** no se retiene porque depende del entorno del sistema de vigilancia y no se puede definir genéricamente.
- **Integridad:** las características relacionadas con la integridad toman en cuenta la influencia de los errores y las imprecisiones en la calidad del servicio. En un sentido estricto, "integridad" se asocia tradicionalmente con problemas de tasa de error, mientras que la "precisión" se introduce para transmitir una noción de precisión. Una importante especialización de la integridad en este sentido más amplio de "precisión" es la noción de "relevancia", entendida como el grado subjetivo de adecuación del servicio a su uso previsto.
 - ✓ **La integridad** se refina aún más en tres características de rendimiento diferentes: errores centrales, correlacionados, espurios y grandes errores de elementos de datos.
- **Tiempo:** las características relacionadas con el tiempo se dividen en dos grupos principales: tiempo absoluto e intervalos de tiempo entre eventos, que pueden especializarse más en términos de retrasos en la transferencia, etc.
 - ✓ **El tiempo** se traduce en el retraso de procesamiento para los elementos de datos que se envían desde la aeronave al usuario del sistema de vigilancia en tierra.
- **Fiabilidad:** las características relacionadas con la confiabilidad se utilizan para evaluar la frecuencia y la duración de las fallas del servicio. Las especializaciones genéricas importantes son "disponibilidad" y "mantenibilidad". En un sentido estricto, "fiabilidad" denota la tasa / probabilidad de falla.
 - ✓ **La fiabilidad** se refina aún más en la disponibilidad y la continuidad de los elementos de datos y del sistema de vigilancia completo.