



UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID

ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO
Máster Universitario de Ingeniería Aeronáutica

Viabilidad e implementación de la tecnología ADS-B en el espacio aéreo de Filipinas

Alejandro Morata Pérez

Curso 2022-2023

**Viabilidad e implementación de la tecnología ADS-B
en el espacio aéreo de Filipinas**

Autor: Alejandro Morata Pérez

Tutor: Álvaro Rodríguez Sanz

Titulación: Máster Universitario en Ingeniería Aeroespacial

Curso: 2022-2023

Índice

Introducción	6
Objetivo	8
Metodología.....	9
Tecnología ADS-B	10
ADS-C	12
ADS-B	13
Datos del ADS-B	15
Veracidad de datos.....	16
SESAR	18
ADS-X.....	19
Contexto normativo y estándar	20
Cobertura del ADS-B.....	21
Reglamento de aplicación de la comisión (EU) 2020/587	21
Estandarización	22
Desarrollo.....	24
Situación actual de Filipinas.....	24
Control aéreo actual.....	25
Viabilidad del proyecto.....	27
Tipos de Espacios Aéreos	30
Nueva York	32
Islas Canarias	35
Singapour	38
Planificación	39
Implementación de un equipo que asegure la coordinación internacional.....	39
Compatibilidad de Sistemas	40
Integración	41
Implementación	42
Fase conceptual.....	42
Fase de Diseño	43
Implementación	44
Dificultades de la implementación.....	47
Seguridad del ADS-B.....	48
Beneficios operacionales	50
Alternativas al ADS-B.....	52
MLAT	52
WAM	53
Trilateración	54
Triangulación.....	55
Conclusiones.....	56
Bibliografía	58

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Funcionamiento ADS-B.....	11
Ilustración 2: Diferencias entre "ADS-B In" y "ADS-B Out"	15
Ilustración 3: Localización Terrestre VS Geolocalización	16
Ilustración 4: Estudio del ángulo de llegada.....	17
Ilustración 5: Validación TOA	17
Ilustración 6: Ranking de calidad de las infraestructuras aeroportuarias. Fuente: Banco Mundial	24
Ilustración 7: FIR Manila.....	26
Ilustración 8: Localización aeropuertos y radares	27
Ilustración 9: Ground Coverage Map del Aeropuerto JF Kennedy.....	33
Ilustración 10: FIR Islas Canarias	36
Ilustración 11: Rutas aéreas Filipinas	38
Ilustración 12: Cobertura radar Batazara (Fuente: CAAP).....	39
Ilustración 13: Ejemplo de flujo de trabajo	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 14: Esquema de ADS – B (ITP) de FAA	49
Ilustración 15: Ejemplo de multilateración	52
Ilustración 16: Ejemplo de trilateración	54

Índice de tablas

Tabla 1: Capacidad de los radares en Filipinas (CAAP, 2019).....	26
Tabla 2: FIR colindantes con el de Filipinas (RPHI)	29
Tabla 3: Estimación nº de movimientos aéreos hasta el año 2030.....	34
Tabla 4: Registro de Manila ACC en 2016	35
Tabla 5: Movimientos aéreos en las Islas Canarias. Fuente ISTAC (Instituto Canario de Estadística)	37
Tabla 6: Ejemplo de flujo de trabajo	46

Introducción

La implementación de la tecnología de Vigilancia Dependiente Automática - Difusión (ADS-B, por sus siglas en inglés) ha transformado la forma en que funciona el control del tráfico aéreo, proporcionando un sistema más eficiente, confiable y seguro para monitorear y gestionar los movimientos de las aeronaves. En los últimos años, ha habido un creciente interés en la implementación de ADS-B en la aviación a nivel mundial.

El ADS-B se presenta como una tecnología prometedora para ser complemento o sustitución total de los radares utilizados actualmente. Todo empezó en 1990 cuando empezó a popularizarse el ADS-C, que, al igual que su predecesor se pretendía que fuese el principal medio de vigilancia en el espacio aéreo oceánico para aquellas zonas que los radares no pudiesen cubrir.

Uno de los objetivos estratégicos principales de la OACI en materia de seguridad es: “Aumentar la capacidad y mejorar la eficiencia del sistema de la aviación civil mundial”. Para la consecución de dicho objetivo, la redundancia de cobertura y la ampliación de vigilancia ATS en el espacio aéreo del país son primordiales, ya que mejorarán la seguridad en caso de contingencia, mejorando los servicios actuales y los estándares de separación que se dan actualmente.

A inicios de la década de los 90, Filipinas de la mano de la JITA (Agencia Internacional de Cooperación Japonesa) implementó el ADS-C junto al CPDLC (Controller-Pilot Data Link Communication) basado en un sistema de geolocalización de las aeronaves mediante envío y recibo de mensajes mediante satélites. Cada uno de estos mensajes enviados eran cobrados independientemente, por lo que, una vez terminado el periodo de prueba gratuito, ninguna de las aerolíneas quiso pagar este servicio, por lo que dejó de utilizarse y finalmente fue clausurado en el año 2003.

En 2001, Filipinas junto a la CAAP (Civil Aviation Authority of the Philippines) se crea el grupo de trabajo junto a la OACI para la implementación del ADS-B. El programa tendría una duración de 3 años máximo ya que la OACI había determinado el sur de China como una de las prioridades en la promoción del ADS-B en la región Asia/Pacífico. Sin embargo, en 2016 se emiten diferentes reportes en el aeropuerto internacional de Ninoy Aquino en los que se reflejan interferencia en la geolocalización o problemas de navegación durante la aproximación.

Tras estos reportes, la CAAP, siguiendo la propuesta de la ANS y la ATS, junto con las irregularidades observadas usando el radar Modo S de Tagaytay se preguntaron si realmente la aviación filipina estaba preparada para implementar el ADS-B. Mientras que el resto de los países del mundo que manejan una alta densidad de tráfico aéreo

han avanzado a pasos agigantados en la implantación del ADS-B durante las últimas dos décadas, se observó que Filipinas ni si quiera había conseguido la mitad de los beneficios prometidos con el ADS-B.

Durante este estudio se observó que los motivos principales que llevaron a la no correcta implementación del ADS-B en Filipinas fueron la falta de documentación en materia de seguridad a la hora de la implementación de este. Además, se concluyó que debido a que la densidad aérea comparada con la de NY no haría que este fuese necesario, por lo menos hasta 2030.

Objetivo

Este documento tiene como objetivo estudiar la implementación del ADS-B en zonas donde aún no se cuente con esta tecnología. Para ello se va a realizar el caso práctico para la región de Filipinas y su FIR. Se va a dividir el trabajo en diferentes partes:

1. En primer lugar, lo que se quiere estudiar es si la demanda de tráfico de Filipinas tendrá el crecimiento suficiente para que sea beneficioso la implementación del ADS-B junto a la tecnología ya existente. Para ello nos apoyaremos en el Plan Global de OACI sobre el crecimiento de la demanda aérea hasta 2030.
2. Se va a comparar la demanda de Filipinas con otras que ya cuenten con dicha tecnología, ya sea por parecida extensión de su FIR o por geografía parecida. También se estudiarán países colindantes con los cuales sea beneficioso que Filipinas adopte dicha tecnología.
3. Una vez comprobada la viabilidad del proyecto, se va a realizar una guía sobre la implementación y medios necesarios para llevar esta a cabo. También se pondrá especial atención en el ámbito de seguridad durante la implementación de esta y durante su futura utilización.

Metodología

Para el estudio que hemos planteado primero vamos a comprar los aeropuertos de Filipinas y la geografía de Filipinas con países o regiones aéreas que sean similares ya sea por la extensión de su FIR, por el volumen de demanda aérea de dichas zonas o por geografía similar. Hay que recordar que Filipinas se trata de un conjunto de islas lo cual hace que haya que tener en cuenta que el transporte aéreo será uno de los más demandados.

Para las diferentes bases de datos que se van a utilizar, sobre todo en la primera parte, se van a imponer diferentes condicionantes:

- Utilizar las bases de datos de Statista, ICAO, FAA
- Respaldado por instituciones aeronáuticas con peso (ICAO, AESA, FAA, etc)
- Estudios publicados después del 2017
- También se utilizarán estudios publicados por los organismos oficiales de cada país.

Para la parte de implantación y seguridad del ADS-B nos apoyaremos de:

- Scopus e ICAO como principal base de datos.
- Artículos de ENAIRE
- Información publicada no antes del año 2017

En caso de no encontrar información necesaria en ninguna de estas fuentes, recurriremos a Google y a informes realizados por consultoras

Tecnología ADS-B

El sistema de Vigilancia Dependiente Automática (ADS) o Vigilancia Dependiente Automática (ADS) es un conjunto de dispositivos y procedimientos de vigilancia cooperativa utilizados para el control del tráfico aéreo.

En este sistema, la aeronave determina su posición mediante un sistema de posicionamiento por satélite (GNSS) y transmite periódicamente esta información de posición a otras aeronaves cercanas y a estaciones terrestres utilizando ADS-B. A diferencia de los sistemas convencionales de vigilancia, donde la posición de la aeronave se determina directamente desde una estación terrestre, con ADS, las mediciones de posición se realizan a bordo de la aeronave utilizando la información de navegación y luego se envían posteriormente a los centros de vigilancia.

La OACI define el ADS como *“una técnica de vigilancia en la que la aeronave suministra automáticamente, mediante enlace de datos, información obtenida a partir. Delos sistemas embarcados de posicionamiento. Y navegación, incluidas la identificación de la aeronave, posición 4-D y cualquier otra información adicional que sea necesaria”*.

Siguiendo sus siglas, los diferentes servicios que ofrece el ADS son:

- **Automática:** la información se envía periódicamente sin la necesidad de intervención del piloto o entrada externa de otro agente.
- **Dependiente:** Depende de una fuente de posición en la aeronave (WAAS/GPS).
- **Vigilancia:** facilita el posicionamiento 4-D de la aeronave. Proporciona servicios de vigilancia parecidos al radar para ATC.

El ADS es un sistema de vigilancia, por tanto, es un medio para que el control aéreo y otros aviones conozcan la posición de las demás aeronaves. Parte del principio que los aviones modernos, gracias a los sistemas de posicionamiento por satélite como GPS, Glonass y Galileo, conocen su posición con mayor precisión que la que proporciona el radar del control aéreo. La idea, por tanto, es que el avión determine su propia posición y que la envíe regularmente por radio.

El término de vigilancia dependiente quiere reflejar que el sistema se basa en medios instalados en los aviones.

El ADS ofrece la posibilidad de:

- **Vigilancia basada en tierra.** Por ejemplo, vigilancia de aeronaves en vuelo por sistemas terrestres. Esta es una función convencional del ATC, pudiendo complementar de esta forma a las técnicas convencionales como el radar o los informes voz.
- **Vigilancia del entorno.** Por ejemplo, tareas de vigilancia llevadas a cabo desde la propia aeronave basándose en el ADS-B o TIS-B. Esto permitiría presentar a la tripulación directamente la información de vigilancia, mejorando la percepción que se tiene en la cabina del estado del tráfico.
- **Vigilancia en el aeródromo.** Por ejemplo, vigilancia de los vehículos desplazándose en el aeródromo, incluidas las propias aeronaves, llevada a cabo tanto desde la torre propiamente como desde los equipos embarcados, previéndose importantes mejoras respecto a las técnicas convencionales empleadas hasta el momento.

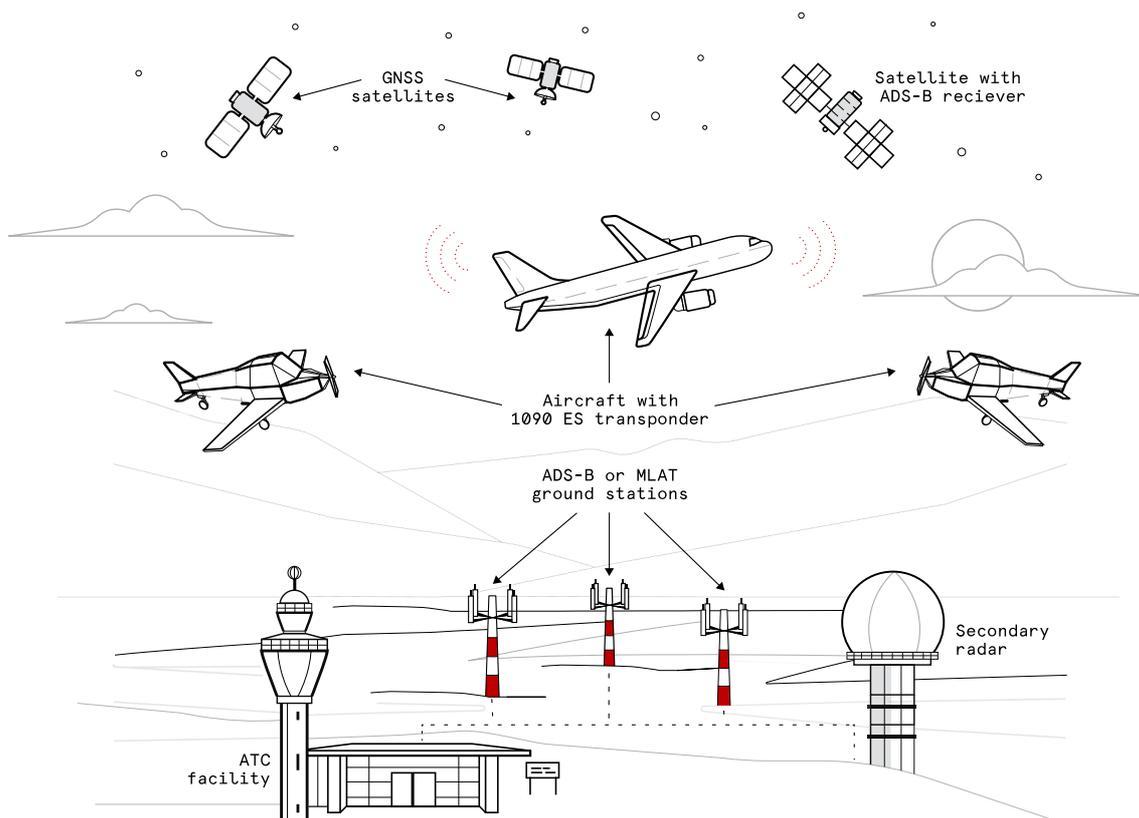


Ilustración 1: Funcionamiento ADS-B

Como se verá, el ADS permite extender el concepto de vigilancia a todas las etapas del vuelo, lo que comúnmente se denomina "gate-to-gate", desde el primer movimiento de

la aeronave en pista, pasando por las distintas fases de vuelo hasta llegar de nuevo a tierra e incluyendo el tramo de rodadura para alcanzar la puerta.

Para implantar este concepto se han definido dos técnicas de envío de información a las estaciones terrestres, el ADS-Broadcast (ADS-B), radiodifundido, y el ADS-Contract o Addressed (ADS-C o ADS-A), por contrato.

Lo que significa que existen dos medios de vigilancia dependiente:

- ADS-B (Automatic Dependent Surveillance Broadcast)
- ADS-C (Automatic Dependent Surveillance Contract)

ADS-C

El ADS-C implica la transmisión de ciertos datos entre la aeronave y una estación de tierra.

El ADS-C funciona en modo conectado, esto quiere decir que hay que establecer siempre una conexión entre el avión y la estación interesada en conocer su posición, que, por lo general, será una estación de control aéreo. Conforme al “contrato” que negocian el avión y la estación de control, el primero enviará una sola vez, o periódicamente, su posición. Este contrato, identifica los tipos de información y las condiciones en las que los informes deben ser enviados por la aeronave.

Generalmente el ADS-C es utilizado en zonas oceánicas, mediante enlaces vía satélite. Dado que son enlaces muy caros, la frecuencia de emisión no es alta por ello es utilizado en dichas zonas. Por ejemplo, la posición en estos radares se actualiza una vez por minuto o cada 10 minutos.

Como principales características de este sistema se pueden nombrar:

1. Solo se transmiten los datos cuando se ha establecido un contrato con una estación de tierra determinada; se pueden mantener varios contratos independientes con varias estaciones de tierra.
2. La estación de tierra decide la frecuencia de las transmisiones y los parámetros de las mismas.
3. Hay cuatro tipos de contratos: periódicos, bajo demanda, por un evento concreto y de emergencia.

4. Las tecnologías que utiliza la ADS-C son fundamentalmente dos: FANS-1/A, que parte del enlace de datos ACARS, y el sistema ATN ADS-C.

ADS-B

El transponder ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) es un dispositivo de radiofrecuencia que se instala a bordo de aviones y que permite a los controladores aéreos conocer la posición y el rumbo de un avión en tiempo real. Esto se hace mediante la transmisión de señales de radio a través de una red de estaciones terrestres y satélites.

El transponder ADS-B es, a día de hoy, una tecnología esencial para la seguridad y eficiencia del tráfico aéreo en todo el mundo.

El ADS-B utiliza una variedad de información y señales para llevar a cabo esta tarea. Algunos de los datos que transmite incluyen:

- **Identificación del avión:** cada transponder ADS-B está asociado a un número de identificación único que se utiliza para emparejar al avión en particular que está transmitiendo.
- **Altitud:** el dispositivo transmite la altitud del avión en tiempo real, lo que permite a los controladores aéreos conocer esa información para evitar colisiones con otros aviones que se encuentren a diferentes altitudes.
- **Posición:** el equipo también transmite la posición del avión en tiempo real. Esto se hace mediante el uso de un sistema de posicionamiento global (GPS) que determina la posición de la aeronave en la Tierra mediante la recepción de esas señales de satélite.
- **Rumbo:** además de todo lo anterior, también transmite el rumbo. Esto se hace mediante el uso de un sensor que mide la dirección y la velocidad del avión.

Se utilizan una serie de señales de radio específicas que están reservada para este propósito. Esta banda se conoce como la banda de radio de servicio aéreo (ARS) y se encuentra en la gama de frecuencias de 1090 megahercios (MHz).

Se trata de una banda de radio de alta frecuencia (HF) que se utiliza principalmente para la comunicación entre aviones y controladores aéreos. Además del transponder ADS-B, también se utiliza en esta banda para otras comunicaciones aéreas, como la transmisión de información de navegación y el control de tráfico aéreo.

Es importante tener en cuenta que esta banda de radio de servicio aéreo está reservada para uso exclusivo de la aviación y no se puede utilizar para otras aplicaciones. Esto se hace para evitar interferencias con otros sistemas de radio y garantizar la seguridad y eficiencia de la comunicación aérea.

Dado que esta tecnología permite conocer la posición y el rumbo de los aviones en tiempo real, ayuda de forma eficaz a evitar colisiones y garantizar la seguridad. Además, también se utiliza para mejorar la eficiencia del tráfico aéreo, ya que permite optimizar el ruteo de los aviones y reducir el tráfico aéreo. Esto a su vez reduce el consumo de combustible y las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que contribuye a un medio ambiente más sostenible.

Dentro de la vigilancia dependiente automática de radiodifusión existen tres funciones diferenciadas, “ADS-B In”, “ADS-B Out” y “ADS-BIn&Out”:

- ADS-B In: la aeronave solo tiene la capacidad de recibir información de otras aeronaves. Por lo tanto, la separación automática en el aire requiere que las aeronaves estén equipadas con ADS-B In y un medio para mostrar efectivamente la información de tráfico disponible a los pilotos.
- ADS-B Out: el sistema sólo puede emitir los datos, lo que le permite conocer su posición al Segmento Terrestre de Gestión del Tráfico y a otras aeronaves. Difunde periódicamente información en intervalos cortos mediante un enlace de datos en el espectro de radiofrecuencia, lo cual dota a la aeronave de una fuente de posición certificada para identificarla y determinar su propia posición, altitud y velocidad.
- ADS-B In&Out: capaz de enviar y recibir información en un espectro de radiofrecuencia determinado. Siendo 1090MHz en Europa y 978MHz en EE.UU.

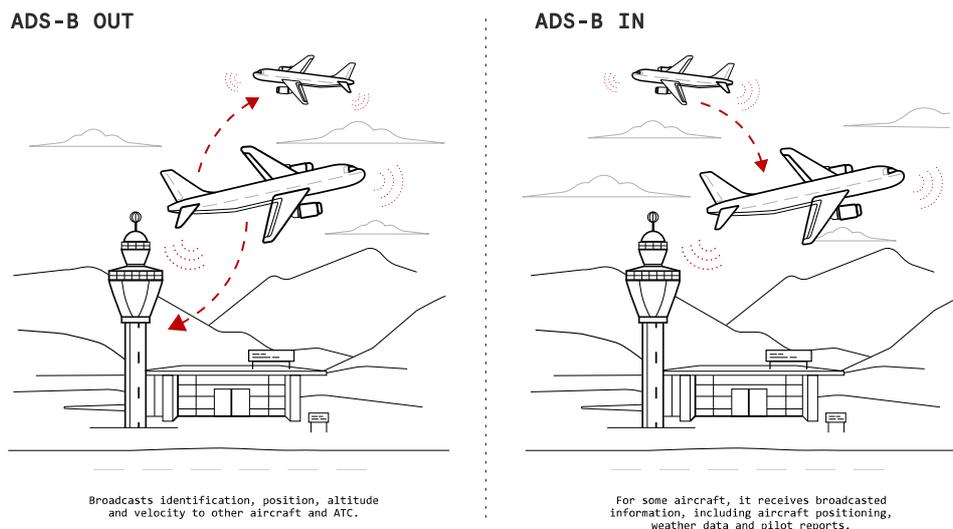


Ilustración 2: Diferencias entre "ADS-B In" y "ADS-B Out"

El ADS-B es una tecnología utilizada y conocida mundialmente y aunque el objeto de este estudio sea su instalación en una zona donde no se utiliza, esta tecnología se lleva utilizando años. Es por ello por lo que existen otras tecnologías complementarias o más avanzadas de las cuales hablaremos más adelante.

Datos del ADS-B

Los datos recibidos y enviados por el ADS-B incluyen lo siguiente:

- Posición horizontal de la aeronave (latitud y longitud)
- Altitud barométrica de la aeronave (será la misma que para el SSR)
- Velocidad de la aeronave
- Indicadores de calidad
- Identificación de la aeronave:
 - o Dirección única de la aeronave de 24 bits
 - o Identificación de la aeronave
 - o Código de modo A (en el mensaje de emergencia/prioridad)
- Estado de emergencia
- SPI (Indicador de Posición Espacial)

Como se ha comentado anteriormente, en Europa, la tecnología utilizada principalmente para enlazar datos es la Extended Squitter de 1090 MHz, la frecuencia aprobada internacionalmente.

Por otra parte, el Modo S es un proceso de SSR que permite la interrogación selectiva de la aeronave, evitando que se solapen las repuestas entre sí y se confundan, de

acuerdo con la única dirección de 24-bit asignada a cada aeronave. Los desarrollos recientes han reforzado el valor del Modo S introduciendo el Modo S EHS (Enhanced Surveillance).

Hay que tener en cuenta que los informes ADS-B carecen de acuse de recibo, por lo que la aeronave desconoce cuáles son las estaciones terrestres o de aeronave que han recibido y están procesando sus informes, teniendo en cuenta que al tratarse de un enlace de datos radio fundido cualquier estación convenientemente equipada puede recibir estos informes.

En cuanto al alcance de los datos, sobretodo de geolocalización que nos brinda esta tecnología, encontramos las diferencias en la siguiente ilustración en la que se ven las diferencias entre localización terrestre y geolocalización.

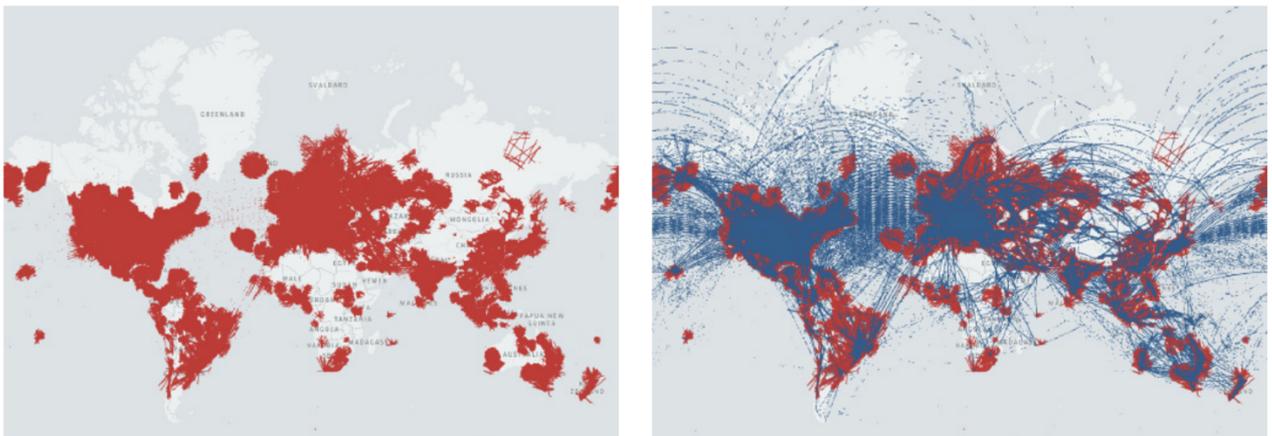


Ilustración 3: Localización Terrestre VS Geolocalización

Veracidad de datos

Tan importante es el conocimiento de los datos que el ADS-B nos brinda como asegurarse de que dichos datos son veraces y se puede confiar en ellos, es por ello, que el sistema de ADS-B puede y debe incorporar 4 métodos para validar los datos recogidos o enviados por dicho sistema:

- 1. Validación por ángulo de llegada:** La antena sectorizada del sistema ADS- de Indra permite la determinación del ángulo/sector de llegada de los mensajes recibidos, esta dirección es correlada con el ángulo de llegada obtenido de la posición reportada por el avión.

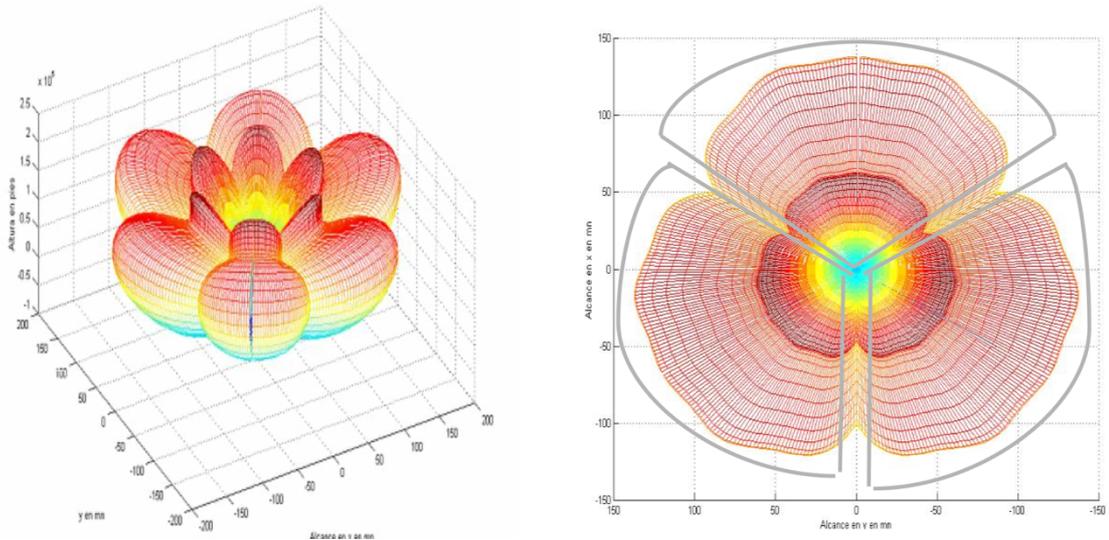


Ilustración 4: Estudio del ángulo de llegada

2. Validación por tiempo de llegada (TOA: Time Of Arrival): El principio de esta validación recae en la correlación entre el tiempo de llegada de los Extended Squitters y la distancia reportada desde distintos receptores.

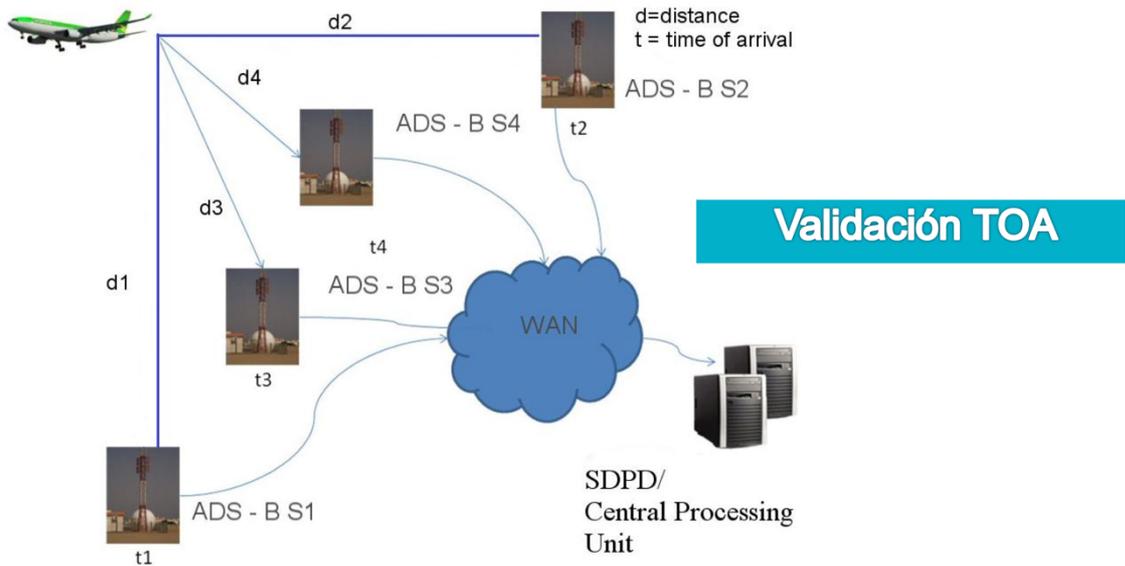


Ilustración 5: Validación TOA

3. Medida de Potencia vs Distancia: Dependiendo del tipo de transponder de la aeronave y de otros parámetros como la ganancia de antena, altura y distancia, el Sistema ADS-B de Indra esperará recibir los mensajes de una aeronave dentro de un rango determinado de valores de potencia.

- 4. Velocidad reportada del blanco vs variación de la posición del blanco:** La posición actual y pasada de la aeronave, mediante la velocidad reportada por la misma se compara para chequear la credibilidad de ambos datos.

Todos estos métodos de validación han sido implementados y probados en el programa SESAR.

SESAR

La iniciativa del cielo único europeo (SES, por sus siglas en inglés) se puso en marcha en 1999 con el fin de mejorar el funcionamiento de la gestión del tránsito aéreo (GTA) y los servicios de navegación aérea (SNA) mediante una mejor integración del espacio aéreo europeo. SESAR fue el primer programa de I+D específico para la modernización y homogeneización del control del tráfico aéreo en la Unión Europea.

Las ventajas que se pretenden obtener con el SES podrían ser enormes: en comparación con 2004, el SES (cuando se haya completado hacia 2030-2035) podría triplicar la capacidad del espacio aéreo, reducir a la mitad el coste de la GTA, multiplicar por diez la seguridad y disminuir un 10 % el impacto de la aviación en el medio ambiente.

Para conseguir estos objetivos se definieron tres fases:

- **Período de Definición (2005-2008):** Durante este lapso, se llevó a cabo la concepción primordial del Plan Maestro de Gestión de Tráfico Aéreo (ATM), estableciendo las bases respecto al contenido, los planes de progreso y la futura implementación de los sistemas de control aéreo. Este esfuerzo fue liderado por EUROCONTROL y contó con el respaldo financiero de la Comisión Europea.
- **Etapa de Desarrollo (2008-2016):** Durante este intervalo temporal, se procedió a la materialización y validación de las tareas predefinidas en el Plan Maestro. La gestión y dirección de esta fase recayó en manos de la Empresa Común SESAR (JU), quien supervisó con éxito el avance de estas iniciativas.
- **Proceso de Despliegue (2014-2024):** Con una conclusión prevista para el año 2024, esta tercera y última fase engloba la ejecución en gran escala de la infraestructura establecida en la fase de desarrollo. El énfasis radica en la construcción y la instalación de elementos cruciales para la gestión del tráfico aéreo, marcando el cierre de este ambicioso proyecto.

ADS-X

La aviación mundial está empezando a desplegar y utilizar la vigilancia dependiente automatizada (ADS-B) para la vigilancia en el control del tráfico aéreo. Como se ha visto, los proveedores de servicios de navegación aérea (ANSP) están instalando estaciones terrestres, se están iniciando procedimientos experimentales y pruebas de vuelo, y la Administración Federal de Aviación (FAA) está invirtiendo más de mil millones de dólares en infraestructura terrestre.

La FAA tiene previsto poner en marcha una normativa que aplicó y finalmente, en 2020 todas las aeronaves deberán estar equipadas con capacidades ADS-B limitadas para operar en el Sistema Nacional de Espacio Aéreo (NAS). Pero de cara al sistema de transporte aéreo de nueva generación (NGATS) en Estados Unidos y a las iniciativas de investigación ATM del Cielo Único Europeo (SESAR) en Europa, es necesaria una nueva generación de ADS-B.

Denominados ADS-X, los sistemas de aviónica y tierra se basan en los conceptos NGATS de gestión del tráfico aéreo centrada en la red, separación basada en la trayectoria 4D, autoespaciado, secuenciación y separación, y una mayor integración y uso de la información de aire a aire. Esta mirada al futuro no se basa en lo que puede hacer la tecnología actual, sino en lo que exige el sistema de transporte aéreo para 2025. La vigilancia dependiente necesita transformarse para satisfacer estas nuevas demandas de rendimiento.

Este futuro aprovecha los continuos éxitos de las prestaciones de navegación requeridas, el posicionamiento de precisión y el concepto de control por excepción para formar la base de un "contrato" de prestaciones que permita a los pilotos utilizar ADS-X y la visualización del tráfico en cabina para mantener la secuencia y el espaciado de las aeronaves sobre la base de una trayectoria 4D. Los conceptos y escenarios operativos ADS-X presentados proporcionan una visión de futuro de la transformación NGATS/SESAR y comparten algunas observaciones que los desarrolladores de aviónica deben tener en cuenta para:

1. Garantizar que las ofertas de la línea de productos ADS-B existentes puedan ser compatibles con el futuro.
2. El ADS-B se encuentre en una vía de transformación hacia ADS-X de modo que las inversiones iniciales en tecnología sigan teniendo sentido dentro de 15 años.

Contexto normativo y estándar

El uso operativo de ADS-B requiere la certificación y la aprobación operativa por parte de las autoridades reguladoras. Para allanar el camino de la transformación de la infraestructura de vigilancia europea hacia la tecnología ADS-B, la Comisión Europea exige a los operadores aéreos que equipen sus aeronaves con las respectivas funciones de vigilancia. El mandato se conoce como SPI IR, por Surveillance Performance and Interoperability Implementing Rule (Requisitos de Seguridad, Eficiencia e Interoperabilidad) y la referencia legal es CIR (EU) No 1207/2011. Tras la modificación más reciente CIR (UE) 2020/587, el esquema general del mandato es el siguiente:

- La norma es un mandato de uso del espacio aéreo; es aplicable a las operaciones IFR/GAT de al menos 5,7 toneladas de MTOW o 250 KTAS de velocidad máxima de crucero, dentro del espacio aéreo del SES e independientemente del estado de matrícula de la aeronave.
- Equipar de acuerdo con EASA CS-ACNS con un transpondedor de acuerdo con EUROCAE ED-102A (equivale a RTCA DO-260B). Las aeronaves de operadores de terceros países (TCO) que operan dentro del espacio aéreo del SES deben cumplir con los requisitos nacionales equivalentes a los requisitos del CS-ACNS, Subparte D, Secciones 2, 3 y 4, según corresponda. Para espacio aéreo sin radar se sigue la normativa EASA AMC 20- 24.
- Ajustes previos para cumplir antes del 7 de diciembre de 2020.
- Adaptaciones condicionales aplazables hasta el 7 de junio de 2023.
- Exenciones disponibles para aeronaves antiguas (CoA antes del 7 de junio de 1995), aeronaves que realizan vuelos de mantenimiento o exportación y aeronaves que dejarán de operar en el espacio aéreo antes del 31 de octubre de 2025.

Para un desglose detallado de la norma, véase la siguiente sección (Normativa CIR (EU) 2020/587).

En 2018, la Comisión Europea encargó al SESAR Deployment Manager la planificación y ejecución de una implementación coordinada y sincronizada de ADS-B en aviones y en tierra. En respuesta a esta solicitud, el SESAR Deployment Manager elaboró el Plan de Implementación de ADS-B, cuya primera edición se entregó y publicó en diciembre de 2018. El SESAR Deployment Manager continúa actualizando el plan anualmente.

El SESAR Deployment Manager se asoció con EUROCONTROL en esta tarea, que apoya esta actividad mediante la coordinación operativa y técnica, la supervisión del rendimiento de ADS- B, así como la contribución a la preparación de los entregables de la actividad.

Cobertura del ADS-B

Se ha establecido una amplitud muy extensa y continua de la cobertura ADS-B en el lado tierra. La extensión actual de la cobertura ADS-B en tierra generada por los sistemas instalados, estimada a 5000 pies AGL y FL300 crece cada vez más. La cobertura se ha modelado sobre el MDE (Modelo Digital de Elevación) de EU Copernicus y se ha actualizado hasta diciembre de 2020.

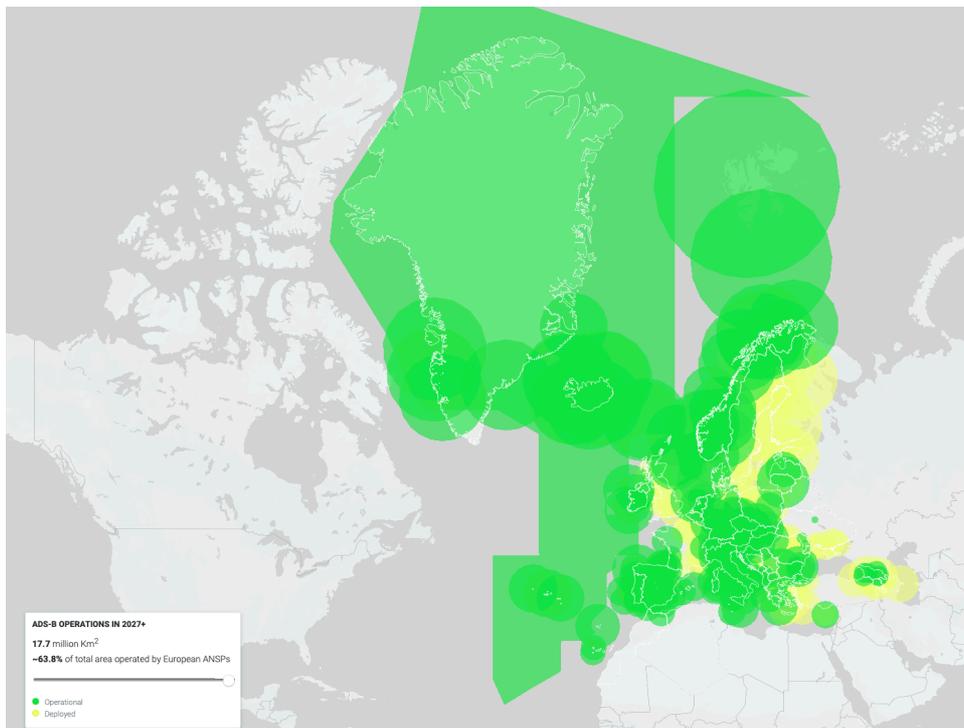


Ilustración 6: Cobertura terrestre del ADS-B prevista para el año 2027 y posteriores

Reglamento de aplicación de la comisión (EU) 2020/587

Algunos de los cambios más importantes son los siguientes:

- Planes de vuelo: los operadores de aeronaves de Estado no equipadas comunicadas de acuerdo con el apartado 3 del artículo 8 y los operadores de aeronaves no equipadas de acuerdo con el apartado 5 del artículo 5 que operen dentro del espacio aéreo del SES, incluirán los indicadores SUR/EUADSBX, SUR/EUEHSX o SUR/EUELSX o una combinación de ellos, en el punto 18 del plan de vuelo.
- Mantenimiento programado: se ha eliminado lo relativo a la comprobación del sistema de transpondedor al menos cada dos años. Se aplicarán los documentos de planificación de mantenimiento del fabricante y/o los requisitos locales.
- Sistema de transpondedor defectuoso: en el caso de las aeronaves en las que la capacidad de los transpondedores para cumplir con los requisitos sobre ADS-B y EHS

esté temporalmente inoperativa, los operadores tendrán derecho a operar dicha aeronave en el espacio aéreo del SES durante un máximo de 3 días consecutivos.

- Requisitos de certificación: los requisitos de instalación según el Anexo 10 del Convenio de Chicago, Volumen IV (Cuarta Edición) tienen que incluir todas las enmiendas hasta la nº 77, (antes no 85). Esto se refiere a los equipos heredados en Modo S anteriores a la versión 2 de ADS-B.

- Exención EHS en Modo S: se ha aclarado la exención EHS para las aeronaves en las que los parámetros requeridos no estén disponibles en un bus digital a bordo.

- Norma de asignación de direcciones de 24 bits: la norma para la asignación de direcciones de aeronaves de 24 bits de la OACI según el capítulo 9 del anexo 10 del Convenio de Chicago tiene que incluir todas las enmiendas hasta la no 90 en lugar de la no 85.

- Intercambio de datos: se ha facilitado la definición de acuerdos formales entre los proveedores de servicios de navegación aérea.

- Vigilancia de la aviónica: se ha suprimido el requisito de que el proveedor de servicios de navegación aérea informe a los operadores de las aeronaves identificadas cuya aviónica presente una anomalía funcional. El ámbito de la vigilancia de la aviónica sigue estando cubierto por las disposiciones de otros reglamentos.

Estandarización

Pese a que esta tecnología haya sido ya aceptada en la mayor parte del mundo, en el caso que nos atañe no, por lo que se van a comentar los primeros pasos a seguir según los SPI IR para la estandarización de este servicio.

A nivel de aeronaves, varios miles ya están certificadas para las operaciones ADS-B en el espacio aéreo sin radar. Además, se observa que más de 2500 aeronaves (a mayo de 2018) están equipadas con aviónica ADS-B "Out" actualizada, de acuerdo con la norma de aplicación del SPI. La implementación de la aviónica basada en la Regla de Implementación SPI cubre tanto el Modo S como el ADS-B Extended Squitter. Esto hará que las instalaciones aéreas estén "preparadas para el futuro", es decir, que sean compatibles con todas las técnicas de vigilancia que se utilizan actualmente o que se prevé utilizar. Existen tres versiones de ADS-B Extended Squitter que coexisten en la actualidad:

- **Versión 0:** definida en EUROCAE ED-102/RTCA DO-260, Minimum Operational Performance for 1090 MHz Extended Squitter Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B). (Noviembre 2000)
- **Versión 1:** definida en RTCA DO-260A, Minimum Operational Performance for 1090 MHz Extended Squitter Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B) and Traffic Information Services – Broadcast (TIS-B). (Abril 2003)

- **Versión 2:** definida en EUROCAE ED-102A/RTCA DO 260B, Minimum Operational Performance Standards for 1090 MHz Extended Squitter Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B) and Traffic Information Services – Broadcast (TIS-B) (Enero 2012). Esta es la versión requerida en el Reglamento de aplicación EU n. 1207/2011, incluyendo el cableado receptor-transpondedor GNSS de baja latencia para los requisitos de aviónica ADS-B.

En cuanto a estándares a utilizar, se pueden mencionar los siguientes:

- **Anexo 10:** Telecomunicaciones Aeronáuticas. Volumen III (Sistemas de Comunicaciones) y Volumen IV (Sistemas de Vigilancia y Anticolisión) (Julio de 2014). En este, se incluyen especificaciones señal Modo S, transpondedores Extended Squitter y receptores ADS-B.
- **Doc 9871 AN/460:** Technical Provisions for Mode S Services and Extended Squitter, 2a Edición 2012. Recoge formatos y protocolos para las distintas versiones ADS-B Extended Squitter, complementando al Anexo 10.
- **Anexo 11:** Servicios de Tránsito Aéreo.
- **Doc 4444:** Procedimientos para los servicios de navegación aérea. Gestión del tránsito aéreo.
- **Especificaciones Sistemas de Tierra ADS-B**
 - o EUROCAE ED-129A Technical Specification for a 1090 MHz Extended Squitter ADS-B Ground Station (Noviembre de 2014).
 - Especificaciones para estación de tierra ADS-B.
 - Cumplimiento de requisitos y prestaciones para la aplicación ADS-BNRA (ED-126).
 - o EUROCAE ED-129B Technical Specification for a 1090 MHz Extended Squitter ADS-B Ground System (Marzo de 2016).
 - Especificaciones para sistema de tierra ADS-B (incluyendo sistemas con receptores ADS-B distribuidos).
 - Basado en borrador de EUROCONTROL de GEN-SUR; prestaciones en escenarios de ruta, TMA, aproximación y superficie.
 - Cambio de filosofía respecto ED-129A en tratamiento de ciertos parámetros.

Desarrollo

Situación actual de Filipinas

Filipinas ofrece más de 7.000 islas con una variedad de recursos naturales y culturales exclusivos, lo que lo convierte en uno de los destinos vacacionales favoritos del resto del mundo. En 2019 el Departamento de Turismo (DOT) junto a las cifras oficiales sugieren que el país atrajo a más de 8.3 millones de turistas en ese año, lo que supuso un crecimiento del 17,1% interanual.

Las 7.641 islas de Filipinas están clasificadas en tres regiones diferentes: la isla de Luzón, el grupo de las Bisayas y la isla de Mindanao. Dada la configuración insular del país, el transporte aéreo es un elemento clave para la comunicación de su territorio y el crecimiento económico y la reducción de la pobreza. El gobierno, consciente de esto, lanzó un programa presupuestario en 2021 para la construcción y compra de infraestructura y material aeroportuario y de navegación de un total de 19.800 M€, equivalente al 5,8% del PIB. Adicionalmente a esta suma, este programa ha sido fuertemente apoyado por el programa internacional del Banco Asiático de Desarrollo.

En 2022, el nuevo presidente “Ferdinand “Bombong” Marcos Jr., tras tomar su cargo fue una de las primeras acciones a las que se comprometió en continuar e incluso llegando a incrementar los fondos para el mismo cuanto sea posible. El Banco Asiático de Desarrollo ha corroborado también su intención de seguir apoyando dicha iniciativa.

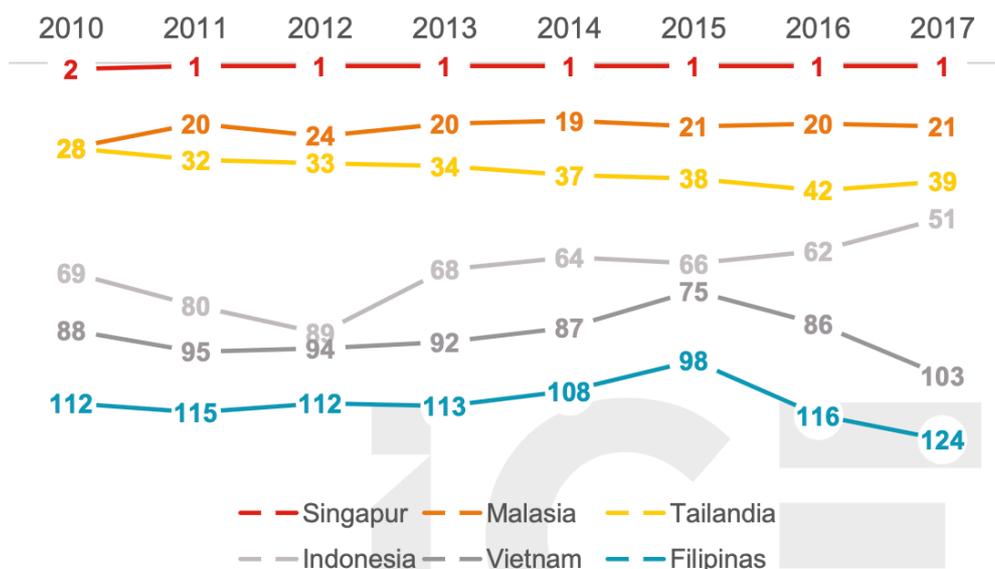


Ilustración 7: Ranking de calidad de las infraestructuras aeroportuarias. Fuente: Banco Mundial

El aeropuerto de NAIA (Ninoy Aquino International Airport) es el principal aeropuerto internacional de Manila. Este, junto al aeropuerto internacional de Clark, son los únicos que dan servicio público aéreo a la zona de Manila.

En Filipinas, los proyectos de infraestructuras aeroportuarias dependen esencialmente del Ministerio de Transportes (DoTr), con aprobación previa de la Autoridad Nacional de Economía y Desarrollo (NEDA).

El principal organismo regulador del sector aeroportuario filipino es la Civil Aviation Authority (CAAP). Los dos mayores aeropuertos de Filipinas, Manila y Cebú, así como el de Clark, por su pasado militar, cuentan con organismos de control propios.

Por otra parte, el Civil Aeronautics Board (CAB) es la entidad encargada de regular, promover y desarrollar los aspectos económicos de la aviación civil en Filipinas.

Pese al gran crecimiento de demanda que está teniendo Filipinas, incluso después del Covid, el nivel técnico y de documentación de este país está muy por detrás de la primera línea del resto de países con una demanda parecida.

Control aéreo actual

Actualmente, el sistema de automatización del Centro de Control de Área de Manila (Manila ACC) es el sistema mediante el cual los planes de vuelo son registrados en el Sistema de Procesamiento de Datos de Vuelo (FDPS por sus siglas en inglés). Teóricamente, todos los vuelos son registrados en este sistema para luego poder ser extraídos en Excel y llevar el control sobre estos. Donde encontraremos, toda la información referente al vuelo, modelo de avión, hora de despegue y de aterrizaje, duración del vuelo, tipo de vuelo (militar, civil, etc) categoría de movimiento (nacional e internacional), y algún dato más. Dicho sistema de automatización está conectado a los tres radares en rutas existentes en Laoag, Tagaytay y Mt. Majic; y el nivel de responsabilidad del ACC comienza a partir de los 13.000 pies de vuelo (3.962,4 m). El radar de Tagaytay puede alcanzar la cobertura hasta el suelo en algunos aeropuertos como los de NAIA y Clark. En dichos aeropuertos, la señal del avión es captada y procesada por el radar e incluida en la automatización. Esto nos deja ver que hay una fuerte discrepancia entre el volumen total de llegadas y salidas de los diferentes aeropuertos real y las que el sistema de automatización muestra.

Actualmente la cobertura del espacio aéreo filipino está compuesta por radares de Modo S sin capacidad para recepción de señal del ADS-B salvo por el radar de Tagaytay, aeropuerto importante en Filipinas, que tiene capacidad de procesar dicha información.

Aeropuerto	Cobertura (NM)	Tipo de Radar	Año de instalación
Clark	110	ASR/MSSR	2006
Manila	60	ASR/SSR Mode S	2001
			2017
Kalibo	60	ASR/SSR Mode S	2017
Bacolod	60	SSR Mode S	2017
Mactan	180	ASR/SSR Mode S	2017
Davao	60	SSR Mode S	2017
Laoag	250	SSR Mode S	2017
Aparri	250	SSR Mode S	2017
Tagaytay	250	SSR Enhanced Mode S	2009
Palawan	250	SSR Mode S	2017
Mt. Majic	250	SSR Mode S	2017
Zamboanga	250	SSR Mode S	2017

Tabla 1: Capacidad de los radares en Filipinas (CAAP, 2019)

Observamos como estos radares están repartidos por los diferentes aeropuertos de todo el país para conseguir cubrir el FIR completo de este.

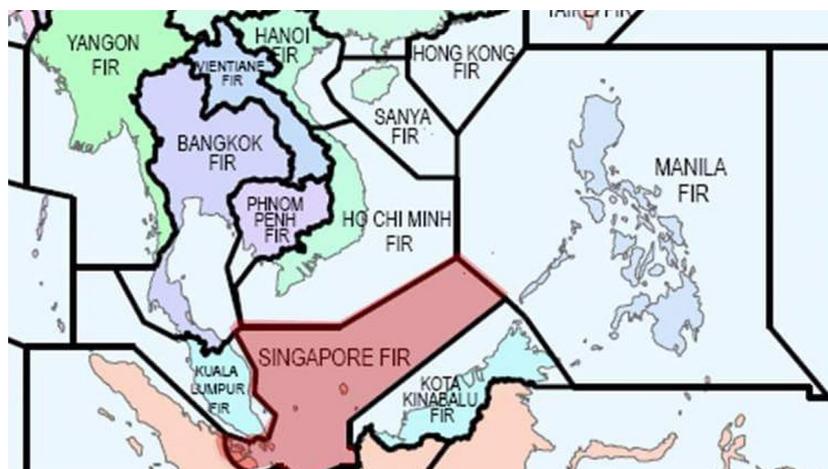


Ilustración 8: FIR Manila

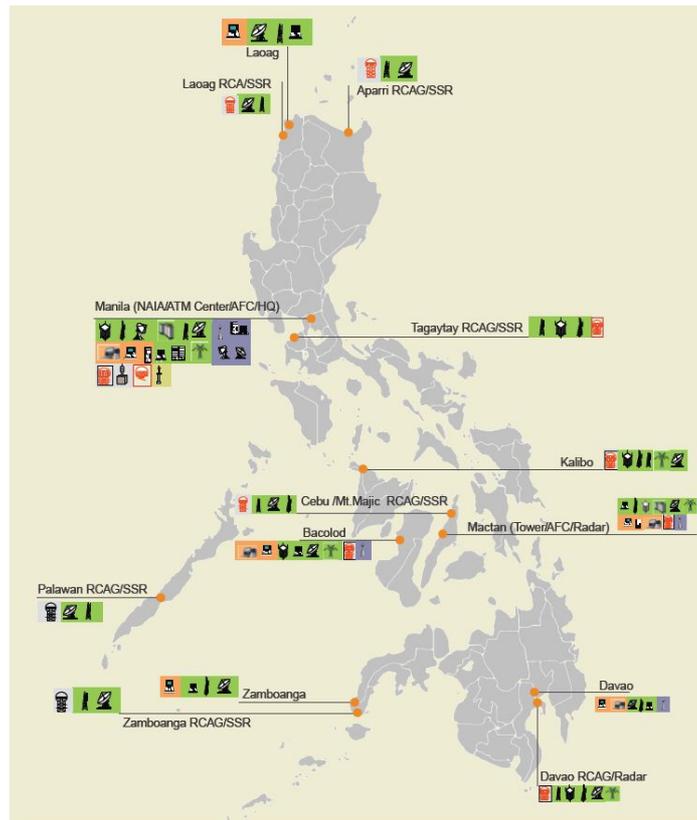


Ilustración 9: Localización aeropuertos y radares

Viabilidad del proyecto

Para comprobar la viabilidad del proyecto antes de entrar a discutir sobre las operativas de seguridad, vamos a comparar el espacio aéreo de Manila con alguno parecido, ya sea en cuanto a extensión, en cuanto a número de movimientos o en cuanto a demografía parecida.

Para empezar, compararemos los espacios aéreos o FIR (Flight Information Region). El FIR es una región específica en la que el servicio de información y alerta de un vuelo (ILSR y ALRS) están divididos. Existen desde 1947 y según la extensión del país al que pertenezcan y el número de vuelos con el que esta cuente, los países pueden estar divididos en un único FIR o en varios.

Algunas FIR abarcan el espacio aéreo territorial de varios países. El espacio aéreo oceánico se divide en regiones de información oceánica y se delega en una autoridad de control limítrofe a esa región. La división entre autoridades se realiza por acuerdo internacional a través de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

No existe un tamaño estándar para las FIR -algunas son meras extensiones verticales de sus respectivos países, por pequeñas que sean, mientras que otras pueden extenderse

hasta el océano abierto-; es una cuestión de conveniencia administrativa del país en cuestión. En algunos casos existe una división vertical de la FIR, en cuyo caso la parte inferior sigue denominándose como tal, mientras que el espacio aéreo situado por encima se denomina región de información superior (UIR).

La OACI, Organización de Aviación Civil Internacional, ha dividido el mundo en nueve regiones de información de vuelo, conocidas técnicamente como FIR (Flight Information Region). Son:

- EUR Europa
- AFI África
- MID Oriente Medio
- PAC Pacífico
- NAM América del Norte
- CAR América Central
- SAM América del Sur
- NAT Atlántico Norte
- ASIA (Asia)

Los FIR, a su vez, se dividen internamente en otros FIR más pequeños.

Un servicio de información de vuelo y un servicio de alerta son los niveles básicos del servicio de tránsito aéreo, que proporcionan información pertinente para la realización segura y eficaz de los vuelos y alertan a las distintas autoridades competentes en caso de que una aeronave se encuentre en peligro. Están disponibles para todas las aeronaves a través de una FIR. En determinadas partes del espacio aéreo dentro de un FIR puede haber disponibles niveles superiores de servicios de asesoramiento y control del tránsito aéreo, según la clase OACI de esa parte del espacio aéreo (con respecto a la reglamentación nacional), y la existencia de una autoridad debidamente equipada para prestar los servicios.

Para poder organizarlos, estos se identifican según un código dado por la ICAO los cuales hacen referencia al FIR en el que se encuentra. Los de Filipinas y países cercanos son:

Código ICAO	Tipo	FIR	País
RPHI	FIR	Manila ACC	Filipinas
RCAA	FIR	Taipei ACC	Taiwan
RJJJ	FIR	Fukuoka ACC	Japón
VHHK	FIR	Hong Kong ACC	Hong Kong
WSJC	FIR	Singapore ACC	Singapur

WBCF	FIR	Kota Kinabalu ACC	Brunei/Malaysia
VVHM	FIR	Ho Chi Minh ACC	Vietnam

Tabla 2: FIR colindantes con el de Filipinas (RPHI)

Respecto a estos FIR en el este asiático, la aceptación e implementación de la tecnología del ADS-B es la siguiente:

- **Japón**

Se han implantado sistemas de multilateración para la vigilancia de superficies en siete aeropuertos y se están implantando en otro.

Está previsto implantar la PMR (WAM) en el aeropuerto de Narita. (La operación comenzó en 2014).

Diseño básico del sistema WAM en ruta finalizado en el ejercicio 2013. La fabricación comenzó en el ejercicio 2014 y estuvo operativa en el ejercicio 2018.

- **Hong Kong**

En abril de 2009 entró en funcionamiento un sistema A-SMGCS a mayor escala que cubre todo el aeropuerto internacional de Hong Kong.

Recogida y análisis de datos sobre el equipamiento ADS-B de las aeronaves en el espacio aéreo de Hong Kong con periodicidad trimestral desde 2004.

Las operaciones ADS-B out sobre las rutas PBN L642 y M771 a FL 290 o superior dentro de HK FIR fueron efectivas en diciembre de 2013 y dentro de HK FIR a FL 290 o superior están previstas para diciembre de 2016.

Infraestructura de estación terrestre ADS-B completada en 2013.

En 2010 se inició una prueba ADS-B utilizando la señal ADS-B proporcionada por China continental para cubrir la parte sur de la FIR de Hong Kong.

Utilizando las rutas ATS L642/M771.

- **Singapur**

El sistema MLAT del aeropuerto se instaló en 2007 y el sensor ADS-B de "largo alcance" se instaló en 2009.

El sistema ATC procesa datos ADS-B desde 2013.

- **Malasya**

Malasia comenzó a imponer el requisito de ADS-B en KL FIR en 2018 y la plena aplicación del servicio ADS-B en rutas específicas/espacio aéreo exclusivo a finales de 2020.

Instalación de dos estaciones ADS-B en Pulau Langkawi y Genting Highland en 2016. Intercambio de datos con los países vecinos a mediados de 2017.

- **Vietnam**

Adopción de un plan de implantación de ADS-B en dos fases. La fase 1 se puso en marcha en marzo de 2013. La fase 2 para todo el espacio aéreo inferior y superior de Ha Noi y Ho Chi Minh FIR se completó en 2016.

Tipos de Espacios Aéreos

Ya hemos visto las diferentes divisiones que existen en el espacio aéreo de forma física, pero, además existen divisiones basadas en sus características internas.

Se puede diferenciar entre espacios aéreos controlados y no controlados.

La OACI divide el cielo en siete tipos de espacio aéreo, nombrados con letras desde la A hasta la G.

Los espacios aéreos A, B, C, D y E son controlados, es decir, las aeronaves están sujetas a control por parte de las diferentes dependencias de ATS o Servicios de Tráfico Aéreo.

Clase A

Es el tipo más restrictivo. En su interior solo se admiten vuelos instrumentales, o IFR; los visuales, o VFR, están prohibidos.

En estos espacios, todos los aviones tienen control y están separados unos de otros, aunque no existen restricciones de velocidad.

Clase B

En estos espacios aéreos, sí se permiten tanto vuelos instrumentales como visuales. Igual que en la Clase A, todos los aviones tienen control y están separados unos de otros, y tampoco existen restricciones de velocidad.

Clase C

En este tipo de espacio aéreo, se permiten vuelos IFR y VFR, y todos los aviones están sujetos a control.

Además, los vuelos VFR están separados de los IFR, pero solo reciben información sobre otros tráficos VFR.

Los vuelos instrumentales no tienen restricciones de velocidad, mientras que los visuales no pueden sobrepasar los 250 nudos de velocidad indicada hasta los 10.000 pies.

Clase D

Se permiten los vuelos IFR y VFR, y todos los aviones están sujetos a control.

Los tráficos instrumentales están separados de otros tráficos instrumentales y reciben información acerca de los visuales. Mientras que, los tráficos visuales reciben información acerca de los tráficos instrumentales y visuales.

A partir de la clase D, todos los vuelos tienen restringida la velocidad máxima a 250 nudos de velocidad indicada hasta los 10.000 pies.

Clase E

Se permiten vuelos IFR y VFR, pero solo los vuelos IFR están sujetos a control y están separados de otros tráficos instrumentales.

Todos los vuelos reciben información sobre otras aeronaves, aunque esta variará con la carga de trabajo que tenga la unidad ATS correspondiente.

Clase F

Este espacio ya pertenece a los no controlados. En él, se permiten todo tipo de vuelos, aunque ninguno de ellos recibe control.

Los tráficos instrumentales reciben información acerca de otros tráficos instrumentales, aunque esta información puede variar según la carga de trabajo del controlador.

Clase G

Es el espacio más libre que existe, no hay control ni separación para ningún tipo de vuelo.

Se conoce como la capa de libre circulación, en la que pueden volar aviones, ultraligeros, drones y aeromodelos.



Ilustración 10: Representación gráfica de las diferentes clases de espacio aéreo

Nueva York

Para empezar con la comparativa vamos a utilizar el FIR de Nueva York, ZNY, dado que tiene una extensión parecida al de Manila y se prevé que para 2030 el volumen de movimientos aéreos sea parecido.

Como podemos observar en la foto a continuación, el ADS-B para el Aeropuerto JF Kennedy consigue, no solo cobertura aérea si no una cobertura del suelo casi total, ayudando así no solo a mejorar y aumentar la seguridad, si no a disminuir el espacio entre aviones a la hora de despegar y aterrizar.

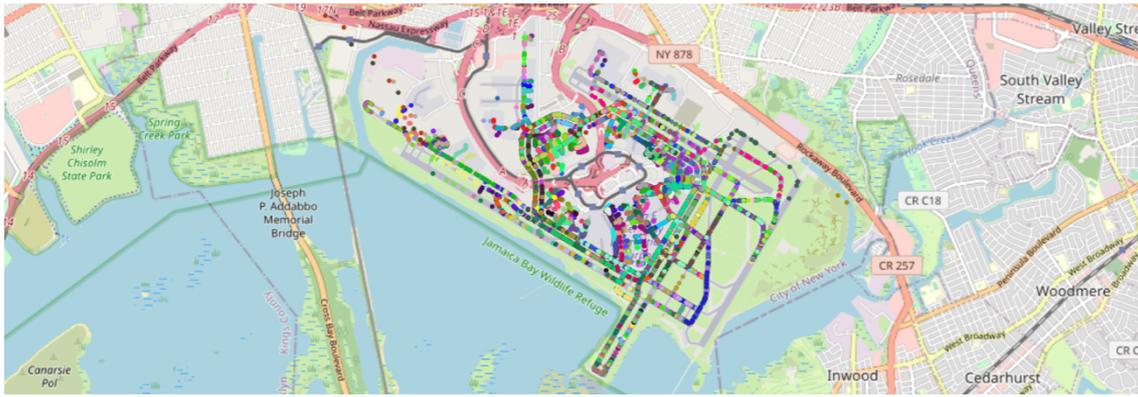


Ilustración 11: Ground Coverage Map del Aeropuerto JF Kennedy

La instalación del ADS-B se completó antes del 1 de enero de 2020, fecha límite para la instalación de dicha tecnología según la FAA. Junto a este, se instalaron en un total de 155 aeropuertos por todo el territorio estadounidense.

A continuación, vamos a comparar el número de movimientos de Filipinas con el de Nueva York y a estudiar la viabilidad del proyecto en función a dicha comparativa. Para ello nos vamos a basar en los movimientos registrados entre 2001 y 2020, y a estimar según la tendencia, el número de vuelos hasta el año 2030. Hay que puntualizar que para dicha estimación se van a evitar los años 2020 y 2021 debido a la influencia del COVID-19.

Year	ADMS Stat	CAAP Forecast	CAAP Trend	NY Stat	NY State Forecast	NY Trend
2001	343,039	343,039	237,154	1,284,811	1,284,811	1,332,062
2002	365,138	365,138	293,057	1,264,247	1,264,247	1,340,512
2003	374,449	374,449	348,960	1,265,905	1,265,905	1,348,963
2004	372,491	372,491	404,863	1,371,685	1,371,685	1,357,414
2005	328,969	328,969	460,766	1,394,930	1,394,930	1,365,864
2006	326,510	326,510	516,669	1,494,693	1,494,693	1,374,315
2007	609,609	609,609	572,572	1,540,511	1,540,511	1,382,765
2008	565,894	565,894	628,475	1,486,425	1,486,425	1,391,216
2009	625,582	625,582	684,377	1,363,956	1,363,956	1,399,667
2010	663,009	663,009	740,280	1,364,483	1,364,483	1,408,117
2011	1,009,688	1,009,688	796,183	1,383,401	1,383,401	1,416,568
2012	1,108,856	1,108,856	852,086	1,375,477	1,375,477	1,425,018
2013	952,380	952,380	907,989	1,385,427	1,385,427	1,433,469
2014	791,846	791,846	963,892	1,435,643	1,435,643	1,441,920
2015	989,658	989,658	1,019,795	1,442,838	1,442,838	1,450,370

2016	1,075,698	1,075,698	1,075,698	1,450,033	1,450,033	1,458,821
2017	1,131,601	1,131,601	1,131,601	1,457,229	1,457,229	1,467,271
2018	1,187,504	1,187,504	1,187,504	1,464,424	1,464,424	1,475,722
2019	1,243,407	1,243,407	1,243,407	1,471,619	1,471,619	1,484,173
2020	-	-	-	-	-	-
2021	-	-	-	-	-	-
2022		1,411,116	1,411,116		1,493,205	1,509,524
2023		1,467,019	1,467,019		1,500,400	1,517,975
2024		1,522,922	1,522,922		1,507,596	1,526,426
2025		1,578,824	1,578,824		1,514,791	1,534,876
2026		1,634,727	1,634,727		1,521,986	1,543,327
2027		1,690,630	1,690,630		1,529,181	1,551,777
2028		1,746,533	1,746,533		1,536,377	1,560,228
2029		1,802,436	1,802,436		1,543,572	1,568,679
2030		1,858,339	1,858,339		1,550,767	1,577,129

Tabla 3: Estimación nº de movimientos aéreos hasta el año 2030

Los datos han sido extraídos de del Centro de Control Aéreo de Manila (Manila ACC). Los datos de vuelo son vertidos en el sistema de procesamiento de datos del radar y este a su vez los extrae a un fichero de Excel para almacenarlos bajo copia en la base de datos. En este fichero podemos encontrar diferente información acerca de cada vuelo: hora de despegue, hora de aterrizaje, tipo de vuelo (comercial, privado o militar), vuelo nacional o internacional, etc. Este sistema está conectado a tres de los radares principales, el de Laoag, el de Tagaytay y el de Mt. Majic. Empezando la toma de datos desde los 13.000 pies hacia arriba. También, estos tres radares tienen cobertura hasta el suelo, con cobertura para varios aeropuertos, por lo que esos datos, son incluidos en dicho fichero Excel. Esto último puede ser una de las razones por los que la toma de datos del ACC no es precisa y puede llevar a equivocación.

Según datos extraídos en el 2016, la frecuencia de vuelos mensual y diaria de los diferentes aeropuertos en Filipinas era la siguiente:

Categoría de vuelo	Media Mensual	Media diaria
ARR		
DOMESTIC	3	1
INTERNATIONAL	6031	201
ARR Total	6034	201
DEP		
DOMESTIC	20	1
INTERNATIONAL	6093	203
DEP Total	6113	204
INT		

DOMESTIC	15288	510
INTERNATIONAL	86	3
INT Total	15374	512
OVF		
INTERNATIONAL	10207	340
OVF Total	10207	340
Grand Total	37728	1258

Tabla 4: Registro de Manila ACC en 2016

Sin embargo, estos datos nos llevan a error, dado que pese a empezar el rango de cobertura de los radares por encima de los 13.000 pies, hay 3 radares que cubren hasta el suelo y además llegan a varios aeropuertos, por lo que hay muchos movimientos de aviones que son contabilizados varias veces. Esto ocurre en los aeropuertos más concurridos del país lo que hace que los números estén totalmente inflados.

Si tomamos los movimientos aéreos por separado de cada uno de los aeropuertos de Filipinas o miramos el número de pasajeros en aeronave, vemos que los números de la tabla mostrada arriba, no alcanza ni la mitad de lo reflejado, por lo que estaríamos ante unos números en el 2030 que no alcanzarían si quiera a los de Nueva York en el año 2000.

Si nos quedásemos únicamente en esta comparativa, podríamos concluir aquí que el ADS-B no es aún necesario para Filipinas, pero dado el error en la volumetría sobre los movimientos aéreos en Filipinas, lo vamos a comparar con las Islas Canarias que se trata de una extensión mucho menor, una geografía muy parecida y una volumetría inferior a la que tiene Filipinas.

Islas Canarias

España cuenta con tres FIR (Flight Information Region), es decir, zonas del espacio aéreo divididas para una gestión de la navegación aérea más eficiente y segura. De este modo, encontramos FIR Madrid, FIR Barcelona y FIR Canarias. Desde el Centro de Control Aéreo de ENAIRE en Canarias se gestionan los servicios de tráfico aéreo en un área geográfica con una extensión de un millón y medio de kilómetros cuadrados, la mayoría de ellos superficies oceánicas, donde se encuadran el archipiélago canario y parte del Sáhara Occidental. Es la puerta a Latinoamérica a través del Atlántico.

La principal característica de la región es que es la puerta, en cuanto a tráfico aéreo, hacia Latinoamérica del tránsito entre Europa y América, que supone el 11% del total que controla la región canaria, aunque casi la totalidad, un 60%, es originado por las

entradas y salidas hacia Europa a través de las islas y el porcentaje restante en el tránsito interinsular.



Ilustración 12: FIR Islas Canarias

El ADS-B en las Islas Canarias, aterrizó en la isla en el año 2019. Concretamente en la isla de Lanzarote, radar que permitía dar cobertura y servicio de vigilancia a los vuelos de la zona noroeste de Canarias, así como al tráfico interinsular y con la Península. Además proporciona cobertura a las aeronaves que despegan y aterrizan de los aeropuertos de Lanzarote y Fuerteventura.

En total, el ADS-B controlará un espacio aéreo con un radio de 250 NM, el equivalente a una superficie de 670.000 km². El radar en Lanzarote viene a sustituir al anterior radar civil, instalado a principios del año 2000, en la misma parcela del Pico de Peñas del Chache, propiedad del Ministerio de Defensa. Este nuevo radar está ubicado en una construcción sostenible hecha de piedra volcánica; además, el color marrón contribuye a reducir el impacto medioambiental de la instalación.

Se trata de un radar secundario y está equipado con receptores digitales y tecnología Modo S, lo que permite disponer de más información sobre las aeronaves que están volando, gestionar el tráfico con más fluidez e incrementar la seguridad. Este tipo de radares se utilizan para el seguimiento y vigilancia del tráfico ya que facilitan información relativa a la posición de cada aeronave, su identificación y la altitud a la que vuela, facilitando la localización de todo el tráfico que opera en su área de alcance.

El radar secundario de vigilancia Modo S representa una mejora con respecto al radar secundario monopulso utilizado hasta entonces. Este nuevo radar utiliza las mismas

frecuencias, pero tiene la capacidad de realizar interrogaciones selectivas, con lo cual disminuye la contaminación radioeléctrica.

Este radar se une a los otros cuatro radares Modo S ya instalados en las Islas Canarias (Gran Canaria, Fuerteventura y La Palma y Tenerife Sur) completando la cobertura en la zona este del archipiélago.

Por hacer una comparación también del volumen de tráfico que tiene las islas canarias, a continuación, se va a mostrar una tabla con datos recogidos desde 2018 y estimados hasta el 2035 por el gobierno de España sobre el número de pasajeros transportados por aire:

Año	Pasajeros totales	Movimientos Aéreos
2009	26.842.718	149.126
2010	28.400.356	157.780
2011	34.649.764	192.499
2012	29.454.510	163.636
2013	29.104.679	161.693
2014	34.330.025	190.722
2015	32.311.254	179.507
2016	35.969.902	199.833
2017	42.854.807	238.082
2018	41.120.487	228.447
2019	41.342.416	229.680
2020	-	-
2021	-	-
2022	43.120.140	239.556
2023	44.974.306	249.857
2024	46.908.201	260.601
2025	48.925.254	271.807
2026	51.029.040	283.495
2027	53.223.288	295.685
2028	55.511.890	308.399
2029	57.898.901	321.661
2030	60.388.554	335.492

Tabla 5: Movimientos aéreos en las Islas Canarias. Fuente ISTAC (Instituto Canario de Estadística)

Para poder tener una comparativa fiel entre ambos FIR escogidos, del número de pasajeros extraídos se ha supuesto una media de 200 pasajeros por vuelo entre vuelos internacionales (que son los que transportan a la mayoría de los pasajeros) y vuelos locales (incluyendo interinsulares como conexiones con la Península)

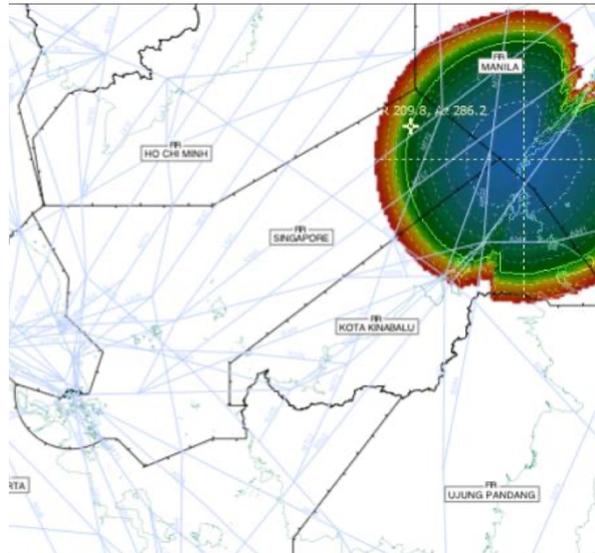


Ilustración 14: Cobertura radar Batazara (Fuente: CAAP)

De los datos obtenidos, se llegó a la conclusión de que el 88% de las aeronaves registradas de las 3 aerolíneas más grandes de Filipinas, operando sobre el radar, estaban ya equipadas con el ADS-B.

Sobre el total, el 51% son compatibles con DO260, el 35% lo son con el DO260A, el 2% lo son con el DO260B y el 12% no están equipadas con ADS-B.

Este estudio deja ver que pese a que las aeronaves de las principales aerolíneas de Filipinas sí que están preparadas para la tecnología de ADS-B, las infraestructuras no lo están, siendo adecuado y necesario que estas evolucionen y ayuden a mejorar la seguridad y a disminuir la distancia, tanto durante el recorrido en pista como durante el tiempo de vuelo.

Planificación

Para una correcta planificación del proyecto existen ciertas actividades, previas a la implementación, que son necesarias clarificar para la correcta consecución de este. En esta sección se van a abordar dichas actividades y ver como casan con el panorama actual de Filipinas:

Implementación de un equipo que asegure la coordinación internacional.

Para la correcta consecución de esta actividad hay que tener en cuenta lo siguiente:

- La implantación de ADS-B debe incluir consultas con la comunidad ATM y coordinación entre Estados y Regiones para maximizar los beneficios.
- Se recomienda establecer un equipo de implantación para coordinar las demandas de las organizaciones afectadas, incluyendo miembros con experiencia operativa multidisciplinar.
- El equipo de implantación debería incluir representantes de proveedores de ATS, reguladores, usuarios del espacio aéreo y otras partes interesadas. Su participación temprana es fundamental para identificar requisitos antes de la planificación.
- El equipo de implantación debe consultar a las partes interesadas, identificar necesidades operativas, resolver conflictos y hacer recomendaciones a los responsables de la implantación, requiriendo un acceso adecuado a los tomadores de decisiones.

Para estos puntos Filipinas ya ha realizado la mayoría de ellos, tanto dejándose ayudar como realizando consultas a diferentes países. Vemos, en el caso de Singapur como ellos son los primeros interesados en que Filipinas adopte dicha tecnología y como han realizado un estudio en el que se demuestra que actualmente las aeronaves que operan dentro del FIR de Manila ya cuentan con la tecnología suficiente para la adopción del ADS-B en el país.

El equipo estará establecido por personal de la CAAP (Civil Aviation Authority of the Philippines) en colaboración con personal de la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) ya que ambos organismos están interesados en la implementación de dicha tecnología en el país asiático.

Compatibilidad de Sistemas

Es importante conocer el entorno tecnológico actual para corroborar que efectivamente, la inclusión de una nueva tecnología puede convivir con la actual y es perfectamente compatible con el resto de sistemas.

Dada la naturaleza internacional de la aviación, deberían realizarse esfuerzos especiales para garantizar la armonización mediante el cumplimiento de las Normas y Prácticas Recomendadas (SARPS) de la OACI. La elección de sistemas para soportar ADS-B debe considerar no sólo el rendimiento requerido de los componentes individuales, sino también su compatibilidad con otros sistemas CNS y las normas de aviónica vigentes.

Actualmente Filipinas tiene cobertura de ADS-C en un gran porcentaje de su FIR y una mayoría de radares con capacidad Modo S repartidos por todo el país, que son compatibles con el ADS-B.

Integración

Los planes de implementación de ADS-B deben abarcar casos de negocio y seguridad. La adopción de nuevos sistemas CNS tiene implicaciones significativas para proveedores de servicios, reguladores y usuarios del espacio aéreo, por lo que se requiere una planificación especial para integrar ADS-B en el sistema CNS/ATM existente y planificado. A continuación, se detallan brevemente los elementos relevantes:

- Sistemas de comunicación.
- Infraestructura del sistema de navegación.
- Otras infraestructuras de vigilancia.
- Requerimientos funcionales adicionales para la integración del ADS-B.

Implementación

Para la implementación de cualquier servicio o ayuda nueva en el ambiente de la aeronavegación hay que tener en cuenta diferentes aspectos:

- Integración de las partes interesadas:
 - Cualquiera que sea el afectado tiene que estar de acuerdo con las condiciones impuestas acerca del proyecto que se quiere llevar a cabo.
- Requisitos de navegación comunicación y vigilancia:
 - Aceptación y cumplimiento de todos los requerimientos operacionales:
 - Tipos de operaciones
 - Número de operaciones
 - Servicios operacionales. De ATC
 - Separación de la aeronave
 - Capacidad del sistema ATM
- Necesidad de información del proyecto global
 - Información del negocio
 - Información acerca de los riesgos
 - Información sobre la integración del proyecto con el panorama actual
 - Armonización del proyecto
 - Certificación
 - Otros aspectos que influyan directa o indirectamente

Adicionalmente a esto, en la fase conceptual inicial, es también necesario tener una checklist, la cual vamos a desarrollar a continuación.

Fase conceptual

La checklist para la implementación del ADS-B en Filipinas cuenta de los siguientes puntos:

- Construir el concepto operacional.
 - Aquí se incluirá el propósito de la implementación del ADS-B, la definición de los objetivos operacionales y los beneficios a obtener.
 - Ambiente operacional. Conjunto de circunstancias que define la necesidad de realizar dicha implementación.
 - Contar con los recursos necesarios para proveer el servicio.

- Contar con la infraestructura necesaria para la implementación.
- Identificar beneficios
 - Eficiencia
 - Seguridad Operacional
 - Capacidad
 - Medio ambiente
 - Reducción de costos
 - Acceso y otras métricas (predictibilidad, flexibilidad, utilidad)
- Identificar riesgos
 - Ofrece un enfoque sistemático para analizar los elementos clave del riesgo y realizar una evaluación del mismo.
 - Sirve como base para priorizar las alternativas de estrategias de mitigación.
 - Evalúa el entorno de seguridad operacional y de aviación, centrándose en mantener las vulnerabilidades a un nivel aceptable.
 - Establece un marco de referencia compartido para analizar la seguridad de la aviación.
 - Facilita la comunicación de problemas y la determinación de prioridades.

Fase de Diseño

Una vez completada la fase conceptual, se convierten las ideas en un plan que trazar que acabe con la implementación de este.

- Identificación de requisitos operacionales
 - Una vez construido dicho concepto, toca identificar los conceptos de seguridad y la interoperabilidad de los diferentes sistemas.
- Identificar problemas relacionados con factores humanos:
 - Interfaz hombre-máquina
 - Desarrollo y validación de la formación
 - Exigencias de la carga de trabajo
 - Automatización
 - Interacciones entre la coordinación de la tripulación y la toma de decisiones del piloto
 - Toma de decisiones en colaboración con la ATM
- Identificar requisitos técnicos
 - Elaboración de normas o acopio de existentes

- Normas de aviónica vigentes
- Datos necesarios para el desarrollo del proyecto
- Rendimiento funcional
- Niveles de certificación requeridos

- Desarrollo, ensayo y evaluación de equipos:
 - sistemas prototipo construidos según normas/especificaciones existentes o en proyecto
 - pruebas de desarrollo en banco y en vuelo
 - parámetros de las pruebas de aceptación
 - selección y adquisición de tecnología

- Desarrollar procedimientos:
 - Acciones y responsabilidades de pilotos y controladores
 - Criterios y requisitos de separación/espaciado
 - Responsabilidad del controlador de mantener una función de supervisión
 - Procedimientos de contingencia y emergencia
 - Elaboración de la documentación AIP e informativa

- Preparar el caso de seguridad de la fase de diseño
 - Justificación de la seguridad
 - Presupuesto y asignación de seguridad
 - Evaluación de riesgos funcionales.

Implementación

Para la correcta implementación del proyecto, como ya se ha comentado previamente, es muy importante la armonización entre todas las partes implicadas para la implementación del ADS-B.

En este aspecto, Filipinas puede guiarse de otros proyectos en el continente asiático como fue el realizado durante la sexta reunión de ADS-B SEA/WG en febrero de 2011.

Durante esta reunión, China apoyó y fortaleció la colaboración entre los Estados/Administraciones involucradas, para lograr una implementación armonizada de ADS-B y operaciones sin problemas en las rutas ATS L642 y M771, que tienen un alto flujo de tráfico.

Se formó un grupo de trabajo ad hoc con la participación de AAC/ANSP de Hong Kong, China continental, Vietnam y Singapur, con el objetivo de desarrollar y acordar un marco

que abarque los plazos de implementación, las normas de aviónica, los niveles óptimos de vuelo y los procedimientos de gestión ATC e ingeniería.

Como resultado de este esfuerzo conjunto, se ha logrado la armonización de la implementación de ADS-B en las rutas ATS L642 y M771. Además, Hong Kong, China y Singapur han publicado Circulares de Información Aeronáutica y Avisos de Aeronavegabilidad respectivos, que establecen los mandatos de ADS-B para estas dos rutas desde el 12 de diciembre de 2013.

Se considera que el flujo de trabajo para la implementación de las rutas. L642 y M771 será útil como guía para que los países que quieran llevar a cabo la implementación del ADS-B, en nuestro caso, Filipinas, puedan usarla y tenerla como guía:

Harmonization Framework for ADS-B Implementation along ATS Routes L642 and M771			
Nº	What to harmonize	What was agreed	Issue / what needs to be further discussed
1	Mandate Effective	Singapore (SG), Hong Kong (HK), China (Sanya) : 12 Dec 2013 Vietnam (VN) : to be confirmed	
2	ATC Operating Procedures	No need to harmonize	Refer to SEACG for consideration of the impact of expanding ADS-B surveillance on ATC Operating Procedures including Large Scale Weather procedures.
3	Mandate Publish Date	No need to harmonize	To publish equipment requirements as early as possible.
4	Flight Level	SG, HK, CN : - At or Above FL290 (ADS-B airspace) - Below FL290 (Non-ADS-B airspace) VN to be confirmed	
5	Avionics Standard (CASA/AMC2024)	SG-CASA or AMC2024 or FAA AC No.20-165 HK-CASA or AMC2024 or FAA AC No.20-165 VN-CASA or AMC2024 or FAA AC No.20-165	ADS-B Task Force agreed that DO260B will be accepted as well. SG, HK, and CN agreed their ADS-B GS will accept DO260,

		CN - CASA or AMC2024 or FAA AC No.20-165	DO260A and DO260B by 1 July 2014 (Note 1)
6	Flight Planning	Before 15 Nov 2012, as per AIGD On or after 15 Nov 2012, as per new flight plan format	
7	Aircraft Equippage		
7a	Procedures if Aircraft Not Equipped or Aircraft without a Serviceable ADS-B Transmitting Equipment before Flight	SG, HK, CN : FL280 and Below VN to be confirmed	
7b	Aircraft Equipped but Transmitting Bad Data (Blacklisted Aircraft)	For known aircraft, treat as non ADS-B aircraft.	Share blacklisted aircraft among concerned States/Administration
8	Contingency Plan		
8 ^a	Systemic Failure such as Ground System / GPS Failure	Revert back to current procedure.	
8b	Avionics Failure or Equipped Aircraft Transmitting Bad Data in Flight	Provide other form of separation, subject to bilateral agreement. From radar/ADS-B environment to ADS-B only environment, ATC coordination may be able to provide early notification of ADS-B failure.	Address the procedure for aircraft transiting from radar to ADS-B airspace and from ADS-B to ADS-B airspace.
9	Commonly Agreed Route Spacing	SEACG	Need for commonly agreed minimal in- trail spacing throughout.

Tabla 6: Ejemplo de flujo de trabajo

Dificultades de la implementación

Varios Estados han implementado ADS-B para servicios de tráfico aéreo, incluyendo la separación de vigilancia. El Panel de Separación y Seguridad del Espacio Aéreo (SASP) de la OACI ha evaluado la idoneidad de ADS-B para diferentes aplicaciones, incluida la separación de aeronaves, comparándolo con el radar de vigilancia secundario monopulso.

Se concluyó que la vigilancia ADS-B es igual o mejor que el radar de referencia y puede usarse para cumplir los requisitos mínimos de separación establecidos en PANS-ATM (Doc 4444). Esto aplica tanto si ADS-B se utiliza como única fuente de vigilancia ATC o en conjunto con el radar, siempre que se cumplan ciertas condiciones. Los detalles de esta evaluación se encuentran en la Circular 326 AN/188 de la OACI, titulada "Evaluación de la vigilancia ADS-B y multilateración para respaldar los servicios de tráfico aéreo y directrices para su implementación".

En cuanto al uso de ADS-B en el espacio aéreo complejo, según lo indicado en la Circular 326 de la OACI, se considera espacio aéreo complejo aquel que presenta las siguientes características:

- Alta densidad de aeronaves
- Alta densidad como punto de escala
- Gran variedad de tipos de aeronaves
- Gran densidad de maniobras aéreas

Filipinas forma parte de lo que se considera un espacio aéreo complejo por lo que habrá que tener en cuenta las siguientes recomendaciones que plantea la OACI:

1. Se insta a los Estados a considerar si el rendimiento del sistema de vigilancia actual o requerido es mejor, equivalente o peor que la referencia SASP.
2. Si el sistema de vigilancia actual o requerido utilizado por un Estado es inferior o equivalente en rendimiento al SASP de referencia utilizado en el Apéndice A de la Circular 326, entonces dicho Estado podrá utilizar los criterios de rendimiento del Apéndice C.
3. Si el sistema de vigilancia actual o requerido utilizado por un Estado es de mayor rendimiento que el MSSR de referencia utilizado en la Circular 326 Apéndice A, entonces el Estado debe garantizar que el sistema ADS-B alcance el rendimiento más exigente.

4. El Estado debe llevar a cabo, en todos los casos, una evaluación de la seguridad que garantice que cualquier riesgo adicional y requisito de seguridad ya identificados para el espacio aéreo en el que se vaya a implantar ADSB o MLAT, o cualquier nuevo riesgo identificado, se controlen eficazmente y el riesgo se reduzca a un nivel aceptable.

Seguridad del ADS-B

El sistema ADS-B mejora la seguridad al lograr una visualización en tiempo real de una aeronave ante el control de tráfico aéreo y otras aeronaves adecuadamente equipadas. Esto es posible gracias a la transmisión constante de datos de posición y velocidad.

Dada la alta precisión de los datos sobre la posición actual que el controlador de tráfico aéreo recibe, se habilita la capacidad de ubicar y mantener una separación más precisa y oportuna entre las aeronaves.

Gracias a estos avances se dan los siguientes beneficios en materia de seguridad:

- Mejora de la seguridad del espacio aéreo gracias a garantizar una cobertura de la vigilancia del tráfico del 100% en todos los sectores incluyendo también la seguridad entre fronteras
 - Menor riesgo de pérdida de datos/planes de vuelo gracias a la vigilancia continua.
 - Mayor conocimiento de la situación dentro y fuera de un sector
 - Reducción de la violación de las fronteras vecinas en un lugar y momento incorrectos
 - Eliminación de los ángulos muertos y de los empalmes de radar entre límites del sector
 - Detección temprana de códigos de transpondedor de emergencia
 - Reducción de la complejidad mediante la armonización del entorno operativo
- Reducción del tiempo de respuesta del controlador ante situaciones anómalas
 - Detección temprana de posibles errores graves de navegación, lo que permite a un controlador intervenir antes y reducir el riesgo de incidentes y la posible pérdida de separación.
 - Mayor capacidad del controlador para permitir desviaciones en caso de turbulencias o condiciones meteorológicas peligrosas.
 - Permitir descensos de descompresión rápida más tempranos en un entorno de procedimiento

- Mejora de la respuesta de búsqueda y rescate sobre océanos, zonas remotas y regiones polares.
 - Debido a la vigilancia precisa del tráfico aéreo basada en GPS mejora la capacidad de realizar misiones de búsqueda y salvamento para garantizar la seguridad de la vida humana. Los controladores disponen de información más precisa sobre la última posición de una aeronave, lo que reduce el tiempo crítico de búsqueda y rescate.

Por otro lado, para facilitar el ascenso y descenso en ruta en espacio aéreo oceánico y continental remoto, donde la falta de cobertura de vigilancia de servicios de tránsito aéreo (ATS) constituye un factor limitante, se ha creado el **procedimiento “de cola”** (ITP, In-Trail Procedure).

Según la NASA, este procedimiento es: “Procedimiento empleado por una aeronave que desea cambiar su nivel de vuelo a un nuevo nivel de vuelo ascendiendo o descendiendo por delante o por detrás de una o dos aeronaves de la misma pista, potencialmente bloqueantes que se encuentran en un nivel de vuelo intermedio.”

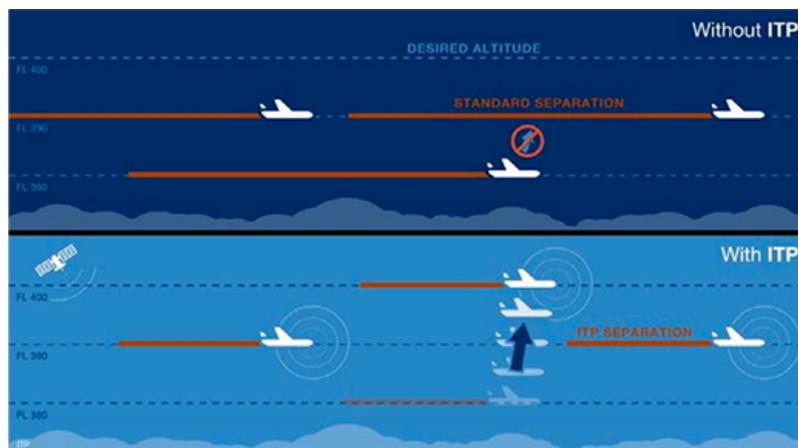


Ilustración 15: Esquema de ADS – B (ITP) de FAA

En ocasiones, las aeronaves que operan en el espacio aéreo oceánico se mantienen a niveles de vuelo no óptimos debido a conflictos de tráfico en niveles de vuelo situados entre su nivel de vuelo actual y niveles de vuelo más eficientes. En lugar de quemar combustible en exceso a altitudes ineficientes durante largos periodos de tiempo, las aeronaves equipadas con ITP pueden realizar cambios de altitud beneficiosos que ahorran combustible y reducen las emisiones. Los aviones equipados con ITP también pueden abandonar más fácilmente una altitud turbulenta, reduciendo el riesgo para la tripulación de cabina y ofreciendo a los pasajeros el viaje más suave posible.

Por lo que la utilización del ITP tiene tres beneficios a destacar:

- Optimización del combustible
- Reducción de emisiones
- Evasión de altitudes turbulentas

En cuanto a operatividad del procedimiento, es bastante simple, si una aeronave desea subir o descender y cruzar el nivel de otra, y ambas cuentan con ADS – B (“IN” & “OUT”), al enviar la solicitud vía CPLDC al ATC, aparecerá las millas náuticas, el nivel y el indicativo de las aeronaves.

Beneficios operacionales

La introducción de la infraestructura de vigilancia ADS-B en entornos de gran complejidad, como el espacio aéreo de Filipinas, ofrece importantes características que pueden ser explotadas por la red ATM:

- Cobertura total de vigilancia en la red completa:
 - Posibilidad de vigilancia aire-aire, es decir, imagen de conocimiento de la situación de tráfico disponible a bordo.
 - La aeronave es parte integrante de la Red.
 - Amplia disponibilidad de datos de. vigilancia, proporcionados directamente por los sistemas de a bordo.
 - Potencial vigilancia “en todas partes”, es decir, sin ninguna laguna como servicio de puerta a puerta una vez implementado el ADS-B basado en el espacio.
- Alto rendimiento.
- Aumento en la seguridad.
- Incremento de la capacidad.
- Sostenibilidad medioambiental.
- Reducción de contaminación por radiofrecuencia (lo que conlleva una mayor viabilidad del enlace de datos de ex MHz).
- Interoperabilidad global.
- Base para futuras aplicaciones ATC (espaciamento, separación, auto-separación).

Cabe destacar que se refuerza la compartición de información entre los distintos stakeholders, algo beneficioso de cara a tomar decisiones de manera cooperativa. Así, en EUROCONTROL, la actividad ADS-B apoya a sus stakeholders mediante un enfoque “end-to-end”. Esto incluye conceptos a nivel operacional, técnico, de planificación o aspectos de negocio:

- Casos de uso operacional (a corto y medio plazo).
- Implementación de la planificación y monitorización.
- Control del rendimiento de las infraestructuras.
- Soporte a la integración.
- Material de guía.
- Soporte en el uso de especificaciones y estándares.
- Mantenimiento de una lista de aeronaves no rentables.
- Disposición de planes de vuelo.
- Validación de funcionalidades ADS-B a nivel de sensores y de fusión de datos (en referencia a anomalías y mitigación de riesgos de seguridad).

El ADS-B permite a las aeronaves y a los vehículos de tierra transmitir información en tiempo real a otras personas con el equipo necesario para recibirla: otras aeronaves, control del tráfico aéreo (ATC), los operadores y los gestores aeroportuarios.

Por tanto, la principal ventaja a nivel aeroportuario se obtiene de esta información en tiempo real, sobre el estado de los vuelos y la posición de todas las aeronaves dentro del aeropuerto. Esto significa que los operadores aeroportuarios pueden estar al tanto de lo que ocurre en todo momento, mejorando el conocimiento de la situación. Del mismo modo, los gestores aeroportuarios tienen acceso a datos de tipo ATC sobre los vuelos entrantes y el tráfico terrestre, lo que permite aumentar la seguridad y mejorar la planificación operativa, debido a la exactitud en la predictibilidad operacional y de las trayectorias. Esto es especialmente valioso para los aeropuertos que experimentan fluctuaciones extremas de tráfico de manera puntual.

Aunque muchos aeropuertos están suscritos a programas de información de vuelos, no siempre proporcionan información de vuelos en tiempo real que incluyen las horas de "On-Block" y "Off-Block". Sin embargo, el ADS-B puede ayudar a proporcionar esta información.

Alternativas al ADS-B

MLAT

La multilateración (MLAT) constituye una técnica de navegación que se basa en medir las diferencias de distancia hacia dos estaciones de emisión con posiciones conocidas y tiempos de emisión preestablecidos. A diferencia de las mediciones de distancia absoluta o ángulo, esta técnica se centra en medir las discrepancias en la distancia entre las estaciones, lo que conlleva a un conjunto infinito de posiciones viables que satisfacen la medición.

La representación gráfica de estas posibles ubicaciones forma una curva hiperbólica. Para determinar la ubicación precisa a lo largo de dicha curva, la multilateración se apoya en múltiples mediciones: una segunda medición tomada desde otro par de estaciones que genera una segunda curva, la cual se cruza con la primera. Al comparar y analizar ambas curvas, se identifica un número limitado de posiciones probables, lo que resulta en una "corrección".

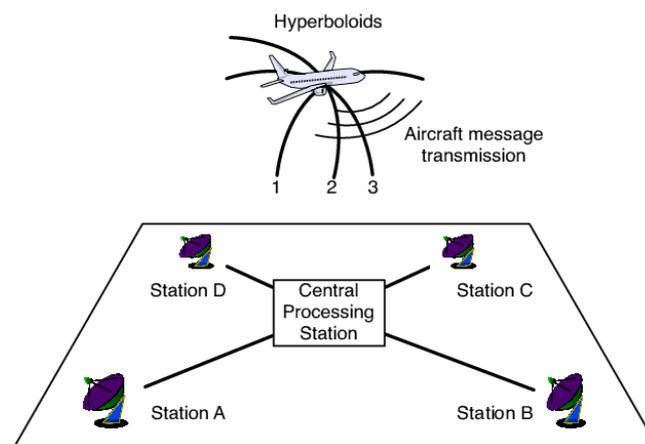


Ilustración 16: Ejemplo de multilateración

Estos sistemas son relativamente simples de construir debido a la prescindencia de un reloj sincronizado y la posibilidad de medir visualmente la diferencia temporal de la señal utilizando un osciloscopio. Esta metodología sentó las bases para diversos sistemas de navegación ampliamente utilizados desde la Segunda Guerra Mundial, como el sistema británico Gee y otros sistemas similares que se introdujeron en las décadas subsiguientes. La introducción de los microprocesadores simplificó en gran medida su operación, lo que impulsó la popularidad de la multilateración en la década de 1980. Uno de los sistemas de navegación hiperbólica más destacados fue LORAN-C, que estuvo en uso a nivel global hasta su cierre en 2010. Aunque otros sistemas

continúan en uso, la prevalencia de los sistemas de navegación satelital, como el GPS, ha relegado en gran medida a estos sistemas a un segundo plano.

Tanto ADS-B como MLAT son sistemas que permiten monitorizar los aviones en ruta, en aproximación y en tierra, así como los vehículos que circulan por las áreas de maniobras del aeropuerto. Aparte de estas funciones, ambos presentan un buen número de virtudes con respecto al otro, al igual que ciertas limitaciones, como veremos a lo largo de este texto.

Por una parte, la tecnología ADS-B tiene un coste de implementación menor que el de la multilateración, pero cuenta también con un importante requisito: las aeronaves deben estar provistas de transpondedores ADS-B, equipos costosos que conllevan fuertes inversiones económicas para los propietarios y que solamente están presentes en un porcentaje reducido de aeronaves. Con todo, a nivel mundial, se aspira a que, en un futuro próximo, todos los aviones dispongan de un transpondedor ADS-B a bordo y sea utilizado en todo el espacio aéreo mundial.

Las claves para la utilización del MLAT son:

- Frecuencia de actualización de datos: cada segundo
- Sincronización centralizada de corrección de reloj
- Fácil de adaptar a la topología del aeropuerto

WAM

Con el fin de supervisar el tráfico aéreo en rutas, algunos proveedores de servicios de navegación aérea (ANSP, por sus siglas en inglés) optan por implementar sistemas WAM (vigilancia de área amplia), cuya característica principal radica en su habilidad para procesar datos provenientes de una variedad de transpondedores, no limitándose solo a los sistemas ADS-B. La particularidad de estos sistemas podría conllevar un costo mayor, ya que exigen la adición de infraestructura suplementaria, como estaciones terrestres, encargadas de detectar las señales emitidas por los transpondedores y calcular la posición de una aeronave mediante el principio de multilateración. WAM de sus siglas en inglés Wide-Area Multilateration

No obstante, la ventaja inherente de estos sistemas radica en su capacidad para cumplir con las especificaciones del ADS-B y además contar con la certificación necesaria para llevar a cabo operaciones de control de tráfico aéreo utilizando diversos tipos de transpondedores en modos A/C/S.

Gracias a la alta precisión característica de los sistemas WAM, es viable reducir al mínimo la separación entre aeronaves, lo que a su vez aumenta la capacidad y eficiencia del espacio aéreo.

En la actualidad, esta tecnología opera exitosamente en todo el mundo. En efecto, el sistema WAM ha obtenido certificaciones para implementar la separación entre aeronaves en toda Europa, la región del Mar del Norte, el Reino Unido, el sudeste asiático, los Estados Unidos, Japón, China, los Emiratos Árabes Unidos y Corea del Sur, entre otros lugares.

Las claves para la utilización del WAM son:

- Basado en receptores de vigilancia-transmisión dependiente automática y multilateración.
- Configuración flexible para adaptarse a las necesidades de cobertura

Trilateración

La trilateración es un método matemático para determinar las posiciones relativas de objetos usando la geometría de triángulos de forma análoga a la triangulación. A diferencia de esta, que usa medidas de ángulo (junto con al menos una distancia conocida para calcular la localización del sujeto), la trilateración usa las localizaciones conocidas de dos o más puntos de referencia, y la distancia medida entre el sujeto y cada punto de referencia.

El punto de intersección de todas las esferas determina la posición del receptor GPS.



Ilustración 17: Ejemplo de trilateración

A medida que los satélites GPS transmiten su ubicación y hora, la trilateración mide distancias para determinar con precisión su posición exacta en la Tierra.

Triangulación

La triangulación, en geometría, es el uso de la trigonometría para determinar posiciones de puntos, medidas de distancias o áreas de figuras mediante ángulos. Cuando conocemos las longitudes y los ángulos, la triangulación determina las distancias formando triángulos, como se muestra en el diagrama anterior.

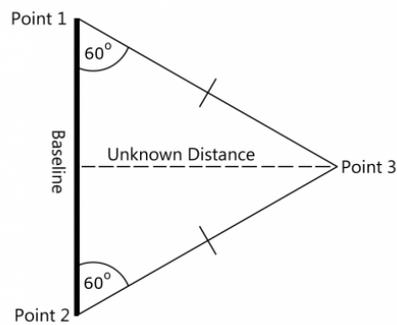


Ilustración 18: Ejemplo de triangulación

Conclusiones

En primer lugar, se observa como la tecnología ADS-B está en constante evolución y aceptada e implantada por la mayoría de países a nivel mundial. Vemos como las aeronaves tienen en casi su totalidad implantada también dicha tecnología y se ha trabajado conjuntamente entre las diferentes organizaciones para conseguir el Cielo Único y que todas las aeronaves sigan unas normas y estándares parecidos en su mayor medida.

También vemos como Filipinas cumple todos los requisitos para la aplicación de dicha tecnología, no solo por que se quiera instaurar a nivel mundial si no que debido al crecimiento esperado de la densidad de tráfico y a su volumen de población se convierte en un requisito indispensable para la seguridad y eficiencia aérea.

Se ha visto como Filipinas ya intentó implementar dicha tecnología para la que compró el equipamiento por lo que hay un ahorro de costos a la hora de implementar dicha tecnología al igual que un beneficio económico y operacional.

El plan propuesto para la implementación del ADS-B en Filipinas, siguiendo las directrices de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), garantiza que se cumplan los estándares globales de seguridad y navegación aérea, contribuyendo así a la coherencia y uniformidad en la aviación internacional. Siguiéndolo se conseguiría que en año y medio la implementación estuviese completa y la tecnología completamente operativa.

En resumen, la implementación de la tecnología ADS-B en Filipinas es un paso crucial hacia la mejora de la seguridad y la eficiencia en la navegación aérea, al tiempo que demuestra cómo la colaboración internacional y la adaptación a estándares globales son esenciales para el futuro de la aviación. Esta inversión no solo tiene beneficios económicos y operativos, sino que también tiene un impacto positivo en la industria a nivel mundial.

Trabajos Futuros

Se propone para futuros estudios:

- Seguir trabajando en los avances del ADS-B para Filipinas
- Elaborar un estudio de coste-beneficio en los diferentes aeropuertos de la ciudad
- Estudiarla complementariedad con otras tecnologías vistas durante este estudio como son la multilateración o la triangulación

Bibliografía

- ADS-B Frequently Asked Questions (FAQs)*. **Federal Aviation Administration**. [En línea].
<https://www.faa.gov/nextgen/programs/adsb/faq/#i2>
- ADS-B Glossary*. **AOPA**. [En línea]. <https://www.aopa.org/go-fly/aircraft-and-ownership/ads-b/ads-b-glossary>
- ADS-B Implementation across Europe*. **CASCADE**. Eurocontrol Brussels June 2009 Gilles Caligaris- Mesut Gurbuz. [En línea].
<https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/4768.pdf>
- ADS-B Implementation and Operations Guidance Document*, Edición 13.0. **ICAO**. Septiembre de 2020. [En línea]. <https://www.icao.int/APAC/Documents/edocs/APX.%20O%20-%20Revised%20AIGD%20Edition%2013%20-%20draft%20v2a%20-%20ENRI%2010.3.pdf>
- ADS-B in Europe*. **IAOPA Europe**. [En línea].
<https://www.iaopa.eu/static/CKFinderJava/userfiles/files/news/2017/RM-Madrid/ADS-b-in-Europe.pdf>
- ADS-B Introduction / Tutorial*. **ICAO**. Greg Dunstone (Technology Development Airservices Australia). [En línea]. https://www.icao.int/Meetings/AMC/MA/2005/ADSB_SITF4/sp01.pdf
- A safety assessment framework for the Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B) system (Safety System)* [En línea]
https://www.researchgate.net/publication/275897975_A_safety_assessment_framework_for_the_Automatic_Dependent_Surveillance_Broadcast_ADS-B_system
- Requisitos de Equipamiento de Cielo Único Europeo*. **AESA** [En línea]
<https://www.seguridadaerea.gob.es/sites/default/files/2.%20Reglamentos%20de%20Cielo%20C3%9Anico%20Europeo.%20Requisitos%20de%20equipamiento%20y%20limitaciones%20a sociadas.pdf>
- Reglamento CIR 2020/587*. **EASA** [En línea]
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32020R0587>
- Panorama de la Vigilancia dependiente automática – emisión (ADS-B OUT)* **ICAO** [En línea]
<https://www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2021/ADSB/P01-OverviewADSBOut-SPA.pdf>
- Plan mundial de navegación aérea 2016–2030*. **ICAO** [En línea]
https://www.icao.int/Meetings/a39/Documents/GANP_es.pdf
- Thirteen meeting of the. South east Asia and Bay of Benegal sub-regional. ADS-B implementation working group (SEA/BOB ADS-B WG/13)*. **ICAO**. [En línea]
https://www.icao.int/APAC/Meetings/Pages/2017-SEA-BOB_ADSB-WG13.aspx
- AMC & GM to Commission Implementing Regulation (EU) No 1207/2011*. **EASA** [En línea]
<https://www.easa.europa.eu/en/document-library/acceptable-means-of-compliance-and-guidance-materials/group/amc--gm-to-commission-implementing-regulation-eu-no-12072011>

ADS-B IMPLEMENTATION STATUS IN THE APAC REGION. ICAO

Mapas de cobertura. EUROCONTROL [En línea]

<https://www.eurocontrol.int/service/automatic-dependent-surveillance-broadcast>