



4^{to} Congreso Argentino de Ingeniería Aeronáutica



OPTIMIZACIÓN DEL TRANSPORTE AÉREO, CON LA VIGILANCIA DE LA AUTO-SEPARACIÓN EN FASE DE VUELO DE CRUCERO

E. Ricaud^a, D. S. Monserrat^b

^a *Subsecretaría de Posgrado y Vínculo con la Investigación, Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina.* <http://www.utn.edu.ar>

^b *Departamento de Ingeniería Aeronáutica, Facultad Regional Haedo, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina.* <http://www.frh.utn.edu.ar>

Palabras claves: CDTI, Separación, Simulación, ADS-B

Resumen

La demanda del transporte aerocomercial en estas últimas décadas se ha incrementado considerablemente, y como consecuencia, toda la industria aeronáutica. Por tal motivo, para que la seguridad operacional del transporte aéreo no se vea comprometida, son importantes los sistemas embarcados para la vigilancia, con correcciones automáticas para mantener la auto-separación, optimizando el control de tráfico aéreo, proporcionando a las tripulaciones información permanente en tiempo real. OACI definió el Sistema de Asistencia de Separación de a Bordo como: un sistema de aeronave con plataforma en la vigilancia a bordo, asistiendo a la tripulación en vuelo para mantener la separación respecto a otras del entorno; por definición se considera que es un sistema de la cabina de vuelo, provee la función de vigilancia de a bordo.

Esta vigilancia es realizada por un sistema automatizado, el visualizador de cabina para información de tráfico (CDTI), proveyendo información en tiempo real de los tránsitos circundantes, realizando maniobras en forma automática para mantener la separación vertical y horizontal, evitándose predictivamente los potenciales conflictos. Esta investigación recrea los estudios realizados para evaluar la adaptabilidad de las tripulaciones ante un sistema automatizado, optimizando el volumen de operación del transporte aéreo. El piloto automático ejecuta las maniobras necesarias evitándose conflictos con los tráficos circundantes, y mantener la auto-separación, en la fase de vuelo crucero. Se evalúa que el transporte aéreo en ningún momento vea vulnerada la seguridad operacional en los volúmenes de operación. Se incluyen las etapas de validación.

Los resultados obtenidos demuestran un buen grado de aceptación por parte de las tripulaciones y la facilidad de adaptación de las mismas en la utilización del nuevo sistema propuesto.

1. INTRODUCCIÓN

En el Transporte Aéreo es un objetivo comúnmente aceptado el lograr una mayor eficiencia operacional, consistente en la utilización de rutas más directas, perfiles de vuelo de alta performance, y optimizar la operación, para ser más competitivo. Este objetivo se alcanza de forma progresiva implementando nuevas tecnologías tanto en el segmento terrestre como en la aeronave, desarrollando procedimientos operacionales que permitan la óptima explotación de aquellos. Aumentar la demanda de aeronaves significa, en términos de gestión del tránsito aéreo, incrementar el número de aviones en un espacio aéreo determinado por unidad de tiempo. El problema es sencillo de plantear aunque no de resolver: aumentar el número de aeronaves en un volumen de espacio aéreo significará en general, disminuir la distancia entre ellas, y es ahí donde la búsqueda de la solución no se hace sencilla. Cuando el número de aeronaves fue creciendo se hizo necesario implementar el control de tráfico aéreo, para garantizarse el desarrollo seguro del vuelo. El control del tráfico aéreo se ha desarrollado sobre la base de que el segmento terrestre es quién ha asumido la responsabilidad de la separación entre aeronaves, y entre éstas y otros peligros. La evolución de este modo de separación permitió gestionar con seguridad mayor número de vuelos, llegando a números impensables hace un par de décadas, disminuyéndose el optimizado de los espacios aéreos. Si por modo de separación se aceptase el conjunto de reglas, procedimientos y desarrollo tecnológico que permita separar las aeronaves en un espacio aéreo determinado. El primer modo de separación fue el control por procedimientos o convencional, se basa en los informes de posición recibidos de la aeronave a través de las comunicaciones aire-tierra. Este modo de separación requiere la aplicación de grandes distancias entre aeronaves para mantener la “separación”, es decir que el riesgo de colisión no exceda el umbral fijado. La demanda de tráfico siguió creciendo y el control por procedimientos enseguida mostró sus limitaciones para atender la demanda, por lo que hubo que desarrollar un nuevo modo de separación, nuevas reglas, nuevos procedimientos, nuevos sistemas, es decir, el control radar. El concepto de operación del control radar permitió disminuir las distancias entre aeronaves en vuelo pasando de 150 millas náuticas en la fase de vuelo en ruta a 10 o 20 millas náuticas e incluso menores en función del espacio aéreo en cuestión, todo ello sin aumentar los riesgos de colisión, siendo un importante paso para el optimizado del espacio aéreo controlado, pero no ha sido suficiente. El aumento de la demanda de tráfico no es homogéneo a nivel mundial, por el contrario, es completamente desigual existiendo áreas o volúmenes de alta, media y baja densidad de tráfico. Si además se considera la prestación del servicio de control de tráfico aéreo, también se tendrá alta, media y baja complejidad. Esta variedad de necesidades hace que desde diferentes instituciones se esté trabajando con el objetivo de gestionar el tráfico aerocomercial para obtener el mejor rendimiento. OACI en los 80 formó un grupo de expertos para analizar las limitaciones que tenía el sistema de navegación aérea en su conjunto y la posibilidad de poder ofrecer el servicio que la aviación en general demandase en el futuro. De ese grupo de trabajo se obtuvieron importantes resultados que podrían resumirse en que, con los medios técnicos del momento y sus procedimientos asociados, no sería capaz de ofrecer los servicios que se iban a requerir en el futuro, por lo que era necesario comenzar un cambio significativo en la forma de afrontar todos los aspectos, tanto técnicos como operacionales. En la actualidad, como continuación de aquellos trabajos, iniciativas internacional como SESAR en la UE, o como NEXTGEN en USA, siempre auspiciadas por OACI, han intentado y siguen en ello, proponer y validar nuevos conceptos de operación que permitan mejorar los distintos indicadores del sistema de la aviación: costes, seguridad, eficiencia, capacidad, puntualidad, accesibilidad e impacto ambiental. Uno de los cambios más importantes en seguridad operacional que podrían darse, es que la responsabilidad de la separación no recayese siempre en el segmento terrestre, es decir que cuando la situación operacional lo permitiese se pudiese delegar la responsabilidad de la separación en la aeronave. Implementar este cambio significa definir el concepto de operación en el que se enmarcará la nueva propuesta. Concepto que debe cubrir todos los aspectos relativos al vuelo, ya sea prestación de los servicios ATS, los sistemas que soportarán el concepto, sistemas terrestres y embarcados; además, de los procedimientos operacionales tanto en tierra como en cabina. Los sistemas embarcados, forma de trabajar, prestaciones operacionales, información a presentar a las tripulaciones, interface hombre-máquina, y la aceptación por las tripulaciones para que la aeronave pueda asumir la responsabilidad de la auto-separación bajo determinadas circunstancias [1].

2. OBJETIVOS

En vuelos de largo recorrido, en la fase de vuelo en ruta, la aeronave vuela en espacios aéreos de distinta consideración a efectos de la prestación de los servicios ATS. La fase de ruta puede desarrollarse sobre áreas continentales en las que la existencia de sistemas CNS que permiten, hacer aplicación del control radar, pero también lo puede hacer sobre zonas oceánicas o remotas en donde esos sistemas no son suficientes, por lo que el servicio de control en muchos casos son por procedimientos. El control por procedimientos en un espacio aéreo suele limitar

la capacidad del mismo debido a las grandes distancias que deben mantenerse entre aeronaves. Las nuevas tecnologías permiten vislumbrar la posibilidad de implementar en estos espacios aéreos un nuevo modo de separación, la auto-separación. En este modo de separación cuando la aeronave llegue a un volumen de espacio aéreo convenido el servicio ATC delegará la responsabilidad de la separación a la aeronave, la cual asumirá la nueva responsabilidad hasta que la devuelva nuevamente al ATC. Se escogió la auto-separación como modo de separación, debido a la gran posibilidad que otorga esta forma de mantener la separación, optimizando los espacios aéreos, y el aumento de la cantidad de aeronaves que pueden ingresar en un volumen determinado, sin disminuir las condiciones de seguridad operacional. El estudio se centró sobre la información de la que deberían disponer las tripulaciones en la cabina para asumir esta nueva responsabilidad y en el sistema de presentación. No se olvidó el factor humano en la cabina, situación en la que se encontrarían las tripulaciones cuando ellas fuesen conscientes de la responsabilidad que asumían. En definitiva estos aspectos son la otra parte en donde se ha centrado la investigación. El fin es la auto-separación, los medios son los sistemas y los procedimientos a implementar. La aceptación de la nueva responsabilidad, la nueva asignación de actividades en cabina y la información necesaria para ello, fueron desde un principio parte del objetivo de este trabajo.

3. ESTADO DEL ARTE

En los 70s y 80s, los centros de investigación, Ames de la NASA y de Langley comenzaron a estudiar formatos de visualizadores y actitudes de los pilotos de aeronaves. Estos estudios utilizaron el CDTI, solucionándose los problemas generados en la interfaz, hombre-máquina. Diferentes estudios consideraron los temas, como: el tamaño de la pantalla (1971, Anderson), orientación de la pantalla (1980, O'Conner), y otros. En los 90 se comenzó a estudiar las percepciones y respuestas de los pilotos a la información referente a diferentes circunstancias del plano vertical (1992, Rooney). En los años siguientes y hasta la fecha se continúan realizando importantes trabajos de diferente índole brindando aportes a la investigación del ASAS, el CDTI, la ADS-B, y otros sistemas. A comienzos de siglo, con los auspicios de la FAA/EUROCONTROL elaboraron un documento denominado Principios de la Operación para el uso del ASAS, se tuvieron en cuenta diversos aspectos como son: conceptuales, procedimientos operativos, factores humanos, sistemas de aeronave, tecnologías, usuarios, perspectivas de aplicación. Lográndose así definir cuatro categorías del ASAS a saber: Cat.1: Aplicación de conciencia de la situación del tráfico, Cat.2: Aplicación de espaciamiento de a bordo. Cat.3: Aplicación de separación de a bordo, Cat.4: Aplicación de auto-separación de a bordo. Estas categorías son tenidas en cuenta en cualquier trabajo relacionado con ASAS. En el año 2002, bajo la dirección de CARE – ASAS, se definió un primer paquete de Ground Surveillance / Airborne Surveillance (GS/AS) desarrollándose aplicaciones., conocidas como el “Paquete I”. La ADS-B es reconocida como clave para el cuadro de servicios generales. En la Conferencia de Navegación Aérea de la OACI, en setiembre del 2003, establece, que OACI y los Estados: a. Considerar a la ADS-B como un facilitador del concepto operacional ATM mundial incorporando importantes beneficios en la seguridad y capacidad; b. Apoyar la pronta aplicación rentable de paquetes en tierra o de a bordo, y aplicaciones ADS-B en el aire. c. Asegurar que la ejecución de ADS-B está armonizado, con el soporte de enlace de datos y aplicaciones ATM. Durante el año 2004, fue creado el programa de EUROCONTROL CASCADE, éste era responsable de la validación y aplicación de la mayoría de las aplicaciones del Paquete I, y otras aplicaciones de enlace de datos, para el transporte aéreo. Trabajos relacionados con nuestra área de interés han sido realizados por diferentes investigadores, instituciones y organismos internacionales. Entre algunos de estos trabajos más recientes podemos citar a: evaluación y validación del CDTI/ADS, nuevos conceptos para la separación, resolución de conflictos en vuelo libre, y otros... También podemos citar trabajos de organismos internacionales como: NASA, NEXTGEN, EUROCONTROL, MITRE, AENA, SKYbrary, FAA/EUROCONTROL, EUROCAE entre otros, que han investigado diversos aspectos y aplicaciones del ASAS. Haciéndonos eco de ello, es oportuno hacer un aporte con el presente trabajo de investigación ante la incorporación de nuevos sistemas que brindan asistencia a las tripulaciones en lo referente a vigilancia y mantener la auto-separación de forma automática [2].

4. SEPARACION MINIMA

La **separación mínima** son los desplazamientos mínimos entre una aeronave y un peligro que mantienen el riesgo de colisión en un nivel aceptable de seguridad. La mínima de separación por tanto no puede ser el mismo valor en todos los espacios aéreos, por el contrario existen factores que influyen en el valor a utilizar como separación mínima entre dos aeronaves para que el riesgo de colisión entre ellas no exceda del límite permitido. La figura 1 muestra un esquema de los factores que se consideran a la hora

de determinar la separación mínima aplicable en un espacio aéreo concreto. Se observan los distintos factores que se pueden agrupar en tres bloques: capacidad de navegación (navigation capability), riesgo a exposición (risk exposition), y capacidad de intervención (intervention capability): [3]

4.1. Capacidad de navegación

La capacidad de navegación es, la exactitud con la que una aeronave podrá volar determinados procedimientos o trayectorias. Así la Aplicación de Navegación -navigation application- se refiere a un procedimiento concreto en el que, a la aeronave que lo vaya a volar se le exigirá una Especificación de Navegación -navigation specification-, es decir unas prestaciones operacionales en términos de precisión, disponibilidad, continuidad del servicio e integridad. Obviamente la aeronave se debe desenvolver en un escenario en el que la infraestructura de navegación disponible le permita conseguir sus prestaciones de navegación.

4.2. Riesgo de exposición

El segundo bloque son factores relacionados con el riesgo, es decir: la densidad de tráfico, la estructura de rutas (paralelas, convergentes, unidireccionales, bidireccionales, etc.), y la complejidad operacional del escenario que podría inducir a cometer errores operacionales con mayor frecuencia.

4.3. Capacidad de intervención

El tercer bloque es la capacidad de intervención, lo cual para que se puede intervenir, lo primero que debe darse es la detección del evento, es decir disponibilidad de vigilancia, una vez detectado, la disponibilidad de comunicaciones, permite que la aeronave pueda recibir las instrucciones adecuadas y por último la disponibilidad de modernas herramientas ATC con sus procedimientos de operación asociados hacen que el nivel de seguridad aumente. El análisis individual y posteriormente en conjunto permite determinar la mínima de separación que puede ser aplicable en un espacio aéreo, que como ahora se entenderá con mayor aceptación no será siempre la misma para cualquier escenario operacional.

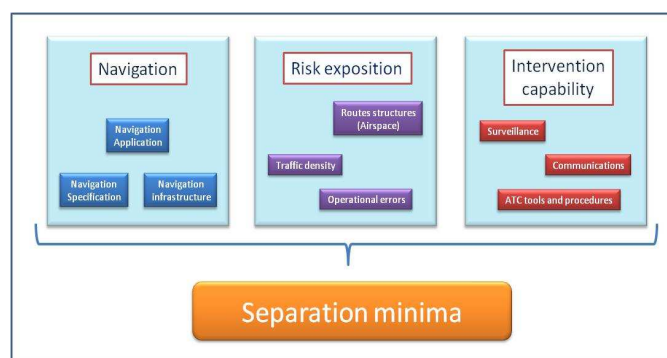


Figura 1: Factores de la separación mínima

4.4. Gestión de conflictos

ICAO describe la gestión de conflictos como un proceso continuo que debe comenzar cuanto antes, incluso antes de que el vuelo se inicie. La idea es que cuanto antes se pueda planificar lo que va a suceder en un escenario operacional, menos improvisación será necesaria y mejores decisiones se tomarán lo que redundará no solo en una garantía de la seguridad operacional, sino también en una mayor eficiencia de los vuelos, aumento de capacidad de un determinado volumen, etc. En este sentido la gestión de conflictos podría entenderse como la concatenación de 3 actividades agrupadas en tres bloques denominados capas, figura 2 [4].

1. Gestión estratégica de conflictos (strategic conflict management).
2. Provisión de separación (separation provision)
3. Sistema anti-colisión (collision avoidance).-

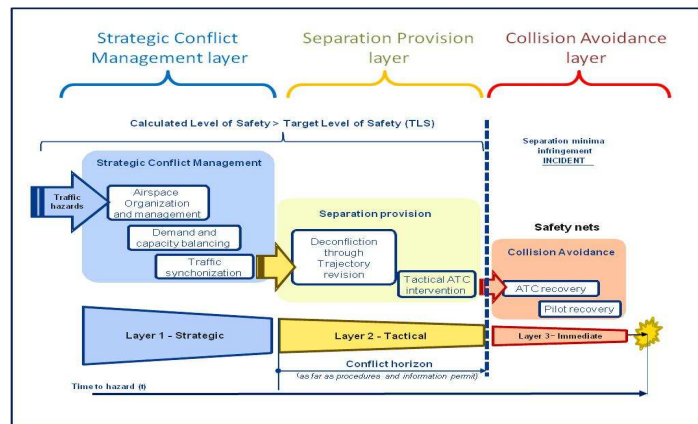


Figura 2: Capas de gestión de conflictos.

1. La **gestión estratégica de conflictos**, es la primera capa de gestión de conflictos y se logra a través de la organización del espacio aéreo y la gestión, el equilibrio entre demanda y capacidad, y sincronización de componentes de tráfico.
2. La **provisión de separación**, es la segunda capa de la gestión de conflictos y es el proceso táctico de mantener las aeronaves lejos de peligros, por lo menos el mínimo de separación adecuado. Provisión de separación sólo es utilizada cuando la gestión estratégica de conflictos, no se utilizan de manera eficiente. Provisión de separación es un proceso interactivo, aplicado al horizonte de conflictos. Se compone de: a) la **detección de conflictos**, se basa en la posición actual de la aeronave en cuestión y sus trayectorias previstas en relación con los riesgos conocidos; b) la **formulación de una solución**, incluyendo los modos de separación, para mantener la separación de las aeronaves de todos los peligros conocidos dentro del horizonte apropiado de conflicto; c) la **implementación de la solución** mediante la comunicación de la solución y de iniciar cualquier modificación requerida a la trayectoria; y d) el **seguimiento de la ejecución de la solución** para asegurar que los peligros se evitan mediante la apropiada separación mínima.
3. Los **sistemas anticolidión**, constituyen la tercera capa de gestión de conflictos y deben activarse cuando el modo de separación ha sido comprometido. Los sistemas anticolidión son, considerados como parte de la gestión de la seguridad ATM. Las funciones de prevención de colisiones y el modo de separación, aunque independientes, deben ser compatibles.

5. CONCEPTO DE OPERACION

Expuestos los conceptos de la gestión de la separación y comprendiendo las posibilidades a la responsabilidad de asumir la separación esta la necesidad de desarrollar un sistema de vigilancia, con sus procedimientos asociados para implementar la auto-separación en determinados espacios aéreos. Las características operacionales del escenario elegido son las siguientes:

- Fase de vuelo en ruta.
- Espacio aéreo superior de baja densidad de tráfico y baja complejidad.
- Rutas principalmente paralelas bidireccionales o unidireccionales.
- Las rutas ATS son predefinidas, están publicadas en la AIP.
- Durante parte del vuelo en ruta la responsabilidad de la separación será delegada a la aeronave, tanto en el plano horizontal como en el vertical.
- Las aeronaves estarán certificadas para especificaciones RNP4 y RNP2.
- Los puntos de comienzo y término de la delegación de la responsabilidad de la separación son definidos para cada una de las rutas existentes. Esos puntos son fijos y estarán publicados convenientemente.
- La auto-separación solo se refiere con otras aeronaves.
- Todas las aeronaves que vuelen en este espacio aéreo tendrán instalados y en servicio el siguiente equipamiento: Transpondedor Modo-S; ADS-B; A/P; EFIS (Primary Flight Display, Navigation Display); Aprobación operacional RNP 4 y RNP 2; Aprobación RVSM; Sim CDTI (sistema propuesto); GPS; Enlace de datos aire/aire.

La descripción secuencial del concepto operacional en condiciones de operación normal sería de la forma siguiente:

- 1) El volumen de espacio aéreo de auto-separación se publica en la AIP.
- 2) En el volumen de espacio aéreo de auto-separación solo podrán entrar aeronaves con la aprobación correspondiente.
- 3) Las aeronaves siguiendo el plan de vuelo autorizado entran en el volumen de espacio aéreo en el que asumirá la responsabilidad de la auto-separación, permaneciendo visible, durante todo el tiempo que dicha aeronave se encuentra dentro del volumen de auto-separación.
- 4) La aeronave seguirá el plan de vuelo aprobado y solo se apartará de él si se debe realizar alguna maniobra para mantener la auto-separación con otra aeronave.
- 5) Todas las aeronaves emiten información de posición y predicción de trayectoria a través de la ADS-B.
- 6) Una aeronave recibe la información transmitida por el resto de los tráficos que estén en su horizonte de interés, el Sim CDTI analiza en tiempo real la situación del tráfico circundante, determinando la existencia de conflicto y calcula la solución en forma de maniobras a ejecutar.
- 7) El sistema presenta a la tripulación la situación del tráfico circundante y la categorización de los conflictos (la categorización es el tiempo de vuelo al CPA).
- 8) El sistema coordina con el "intruso" la maniobra a realizar. No se realiza una maniobra de resolución del conflicto sin previamente coordinarla con el intruso.
- 9) El sistema presenta al piloto la maniobra que se va a ejecutar para resolver el conflicto. El piloto tiene la posibilidad de inhibir la maniobra propuesta.
- 10) Si el piloto no inhibe la maniobra, el sistema proporciona la información de guiado al piloto automático para que realice la maniobra.
- 11) El sistema presenta a la tripulación el progreso de la maniobra.
- 12) Ejecutada la maniobra de resolución la aeronave vuelve a la ruta del plan de vuelo.
- 13) Cuando la aeronave llega al punto de salida del volumen de auto-separación el piloto es alertado por el sistema debiendo el piloto acusar recibo de esta información. La indicación de "Auto-Separación" se apaga.
- 14) La responsabilidad de la separación es asumida por el segmento terrestre.

6. SISTEMA EMBEBIDO PROPUESTO PARA AUTO-SEPARACIÓN. SIMCDTI

Un sistema embebido es un sistema diseñado para realizar una tarea específica. Una maniobra específica es la de resolución de conflictos con su prioridad establecida, estando introducidas previamente en el computador del FMS, siendo éste quien procesa toda la información de navegación y vigilancia necesaria, para ser utilizado por el piloto automático. Con el objetivo de realizar la validación del sistema que se propone, se ha desarrollado un instrumento denominado Sim CDTI. Tiene la base de un instrumento semejante que se le introdujeron sustanciales modificaciones, cambios y agregados, transformándolo en un instrumento para vigilancia de a bordo, con presentación de tráficos, auto-separación en vuelo crucero, y comandos propios.

6.1. Descripción funcional

El Sim CDTI es un sistema, de adquisición de datos en tiempo real, que dispone de una pantalla instalada en el pedestal del cockpit de la aeronave, en donde la tripulación visualiza los tráficos circundantes. En la misma se ha agregado como información adicional: la de navegación, velocidad, altura, DME, rumbo, nivel de vuelo, ACAS, etc. Es un sistema predictivo, la información de conflictos para un horizonte temporal es calculada por los sistemas de la aeronave con la información recibida del resto de ellos. La información de tráfico circundante se obtiene por los mensajes ADS-B recibidos de otras aeronaves. Esta información llega al computador de navegación, incluyendo la señal propia del sistema ACAS. Cuenta con un conjunto de ventanillas de alarmado, en donde se muestran los tráficos que pueden generar conflictos por pérdida de separación. El computador de navegación dispone de una base de datos de navegación con maniobras tipo para ser usadas para mantener la auto-separación, de modo tal que el computador calcula la maniobra necesaria para su ejecución, disponiéndola en el momento requerido. La figura 3, muestra el diagrama de bloques de los computadores, las unidades que componen el procesamiento de la información, para la presentación de la información en el Sim CDTI. El Computador de Navegación es alimentado por los diferentes sistemas y sensores disponibles en la aeronave. El Computador de Navegación proporciona una salida al módulo de corrección automática para que el piloto automático ejecute las maniobras necesarias manteniendo así la auto-separación de los otros tráficos, la evolución de las maniobras se muestra en el display del Sim CDTI, y el FD. Estas maniobras serán ejecutadas una vez que las dos aeronaves hayan realizado la necesaria

coordinación con otros tráficos, con mensajes por enlace de datos. La coordinación permite que las dos aeronaves sepan que una de ellas va a realizar cierta maniobra con el fin de asegurar la auto-separación. La Unidad Procesadora de Monitorización además de recibir toda la información necesaria del Computador de Navegación, procesa la información de tráfico, es quien a su vez alimenta con la información de las aeronaves circundantes al Sim CDTI para su representación en la pantalla. Además, el Computador de Navegación alimenta al Módulo Automático de Corrección, es donde está el módulo que alimenta al piloto automático para las correcciones que fuesen necesarias. Por último está el Módulo Procesador de Data Link, computador, este procesa las señales recibidas de otras aeronaves, como así también es la vía de comunicación con los intrusos, especialmente cuando se informa para coordinar la ejecución de una maniobra para mantener la auto-separación.

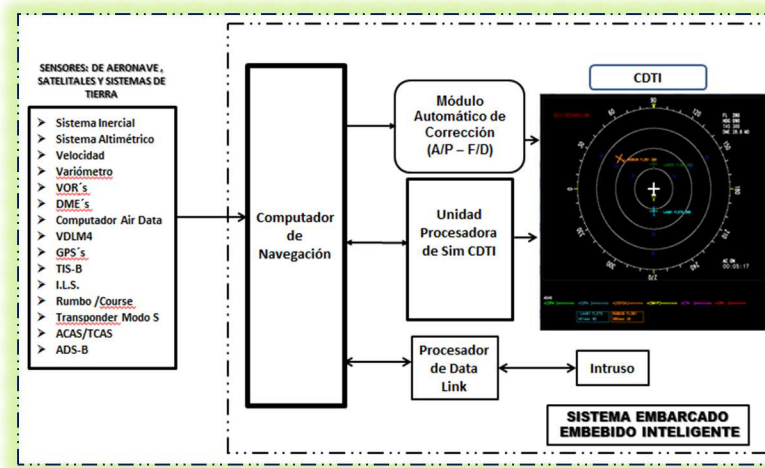


Figura 3: Diagrama en bloque de funcionamiento del sistema embebido inteligente.

6.2. Descripción del sistema

El Sim CDTI está constituido por los siguientes elementos, figura 4.

1. Human/machine Interface (HMI).
2. Display de presentación de tráficos.
3. Panel de vuelo secundario superior e inferior.
4. Display con ventanas de vigilancia y alerta.
5. Ventanas de vigilancia y alarmado.

El HMI, Figura 4, es el medio usado para que la tripulación interactúe con los sistemas vía panel de vuelo. Los comandos que dispone la interface son:

- **TAS:** Indica la velocidad con que está volando nuestra aeronave.
- **ALT:** nivel de vuelo en el que se está operando.
- **HDG:** indica el rumbo de la aeronave que se lleva.
- **RANGE:** indica la profundidad de lectura (escala), en millas náuticas,
- **(A)LTITUDE:** indica la altura en pies de los tráficos a nuestro alrededor.
- **(S)HOW: LEGEND/ID:** etiqueta identificadora del vuelo y nivel de operación de los tráficos que operan en nuestro alrededor.
- **A(C) AS: ON/OFF:** indica que el sistema anticolidión está en operación o no.
- **AUTOP (I) LOT: ON/OFF:** indica si el piloto automático está activado o no.
- **RUNNING / PAUSA:** comando por el cual se asegura que el programa de la operación se está ejecutando; y pausa congela la ejecución.
- **EXIT:** cuando se desea abandonar la ejecución se pulsa este comando.
- **SELF-SEPARATION:** indica que la aeronave está dentro de un volumen de auto-separación y que la responsabilidad de la separación ha sido asumida por la aeronave.

NOTA: Los botones laterales son para hacer variar en más o menos el comando.

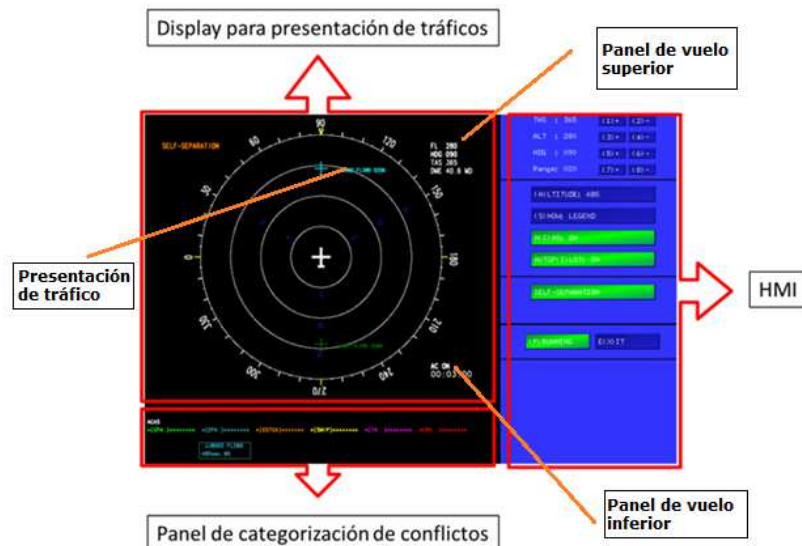


Figura 4: Display de navegación

En el display de presentación de tráfico o de navegación, Figura 4, se presenta la posición de nuestra aeronave y de las aeronaves dentro del área de interés. Como información de respaldo, se ha implementado un panel de vuelo secundario, mostrando los principales parámetros, Este panel está partido, encontrándose en la parte superior e inferior derecha de la pantalla.

Los parámetros a los cuales se hace referencia son, figura 4:

Parte Superior Derecha

- **FL:** indica el nivel de vuelo.
- **HDG:** indica el rumbo de nuestra aeronave según el plan de vuelo.
- **TAS/M:** indica la velocidad de nuestra aeronave.
- **DME:** indica la distancia (nm) faltante al próximo wat-point.

Parte Inferior Derecha:

- **AC ON:** indica que el ACAS está activo.
- **CLOCK:** indica el tiempo de duración de la operación.

En la parte superior izquierda de la pantalla se encuentra la ventana que indica auto-separación, la misma se activa en el momento que se pulsa el comando correspondiente en el panel principal. Mientras esté encendido el cartel se encontrará volando en espacio de auto-separación.

Las ventanas de vigilancia y alerta se encuentran en la parte inferior del Sim CDTI, su significado es el siguiente, figura 5:

- La 1ra. ventanilla de tiempo, ((1), verde), la tripulación recibe información que un intruso está en disponibilidad de vulnerar la primera barrera de protección y en corto plazo nuestra aeronave podría perder la mínima separación, el tiempo restante al CPA es de 10 minutos.
- La 2da. ventanilla de tiempo, ((2), celeste-turquesa), muestra una advertencia de tránsitos en las cercanías, indica que el tiempo restante para arribar al CPA es de 8 minutos.
- La 3ra. ventanilla de tiempo, ((3), naranja), muestra una advertencia de tránsitos en las cercanías, indicando que el tiempo restante para perder la separación es de 2 minutos.
- La 4ta. ventanilla de tiempos, ((4) amarilla), significa que la mínima de separación se está infringiendo.
- La 5ta. ventanilla de tiempos, ((5) magenta), es el momento en que se disparó la primera alerta de tráfico (TA), en este instante el intruso comienza a parpadear en la pantalla, además dispone de una alarma audible, indicando que la separación es de 48 segundos.
- La 6ta. ventanilla de tiempos, ((6) rojo), en esta instancia se ha disparado la segunda alarma de tráfico (RA) y última. Ésta es parpadeante, contando con una alarma audible intensa. El intruso se señala y parpadeo, indicando que está a 35 segundos de colisionar.

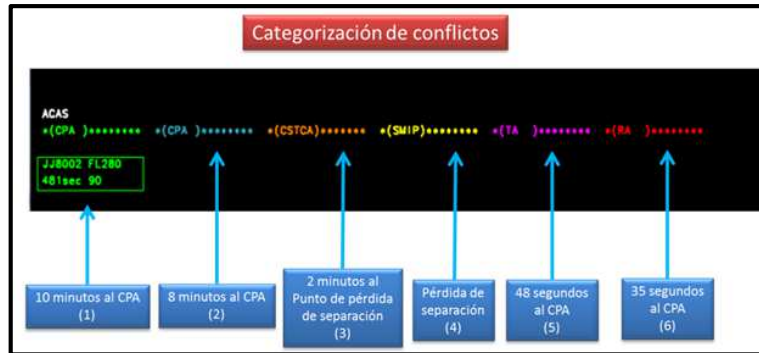


Figura 5: Categorización de eventos en las ventanillas de alarmado

7. FUNCIÓN VIGILANCIA. DETECCIÓN DE AERONAVES

El objetivo de la función de vigilancia es detectar aeronaves que estén dentro del área de la aeronave que asume la auto-separación. La información correspondiente a otras aeronaves se recibe en el Computador de Navegación a través de la ADS-B. Con la información de navegación de las aeronaves, una vez procesada, se presentarán sus posiciones actuales relativas a la aeronave propia en el display del Sim CDTI. Si la posición relativa de las aeronaves respecto de la propia no es identificada como dentro del área en que no se encuentra en rumbo de colisión, y a un tiempo menor de 10 minutos al punto CPA la función vigilancia no mostrará a esas aeronaves. Cuando el tiempo al CPA sea igual o inferior a 10 minutos la aeronave intrusa aparecerá en el display del Sim CDTI, figura 4. La función de vigilancia realiza una permanente predicción de trayectorias de los tráficos circundantes, actualizándose en tiempo real. Esta función lógica ve hacia adelante 20 minutos, es decir un tiempo suficientemente mayor que los 10 minutos al punto CPA, momento en el cual se comenzaría a representar la aeronave intrusa en el display. Con el horizonte temporal de 20 minutos se realizan las comprobaciones de si alguna aeronave que esté en su proximidad podría infringir los mínimos de separación, la función lógica del computador presenta la situación en el display. Se muestra el diagrama de flujo a la función vigilancia, figura 6.

La función vigilancia está diseñada para trabajar con el esquema temporal de la figura 7. Para facilitar su comprensión se expone una situación concreta. Existen dos aeronaves que por cualquier motivo están siguiendo dos trayectorias en rumbo de colisión al mismo nivel de vuelo.

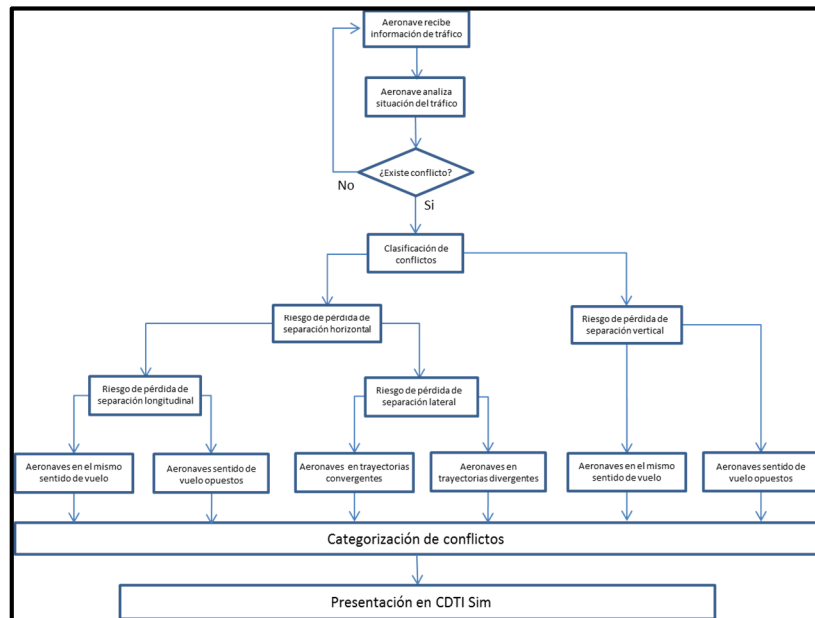


Figura 6: diagrama de flujo de la función de vigilancia

La aeronave 1 después de recibir la información ADS-B (extended squitter) de la aeronave 2 (intrusa) determina el instante t_{CI} (identification of potencial conflict) que corresponde a 10 minutos de vuelo para llegar al punto de máximo acercamiento, (CPA), determinado para un instante dado. Es importante, para facilitar la comprensión de

la figura, su consideración como una “foto” fija. En el instante t_{CI} la aeronave 1 tiene información de que en caso de no realizar ninguna maniobra se llegará a perder la separación, (en el ej. “lateral”), con la aeronave 2. Es esta una primera barrera de protección que indica a la tripulación un estado de precaución. Nótese que 10 minutos de vuelo a la velocidad de una aeronave en ruta son aproximadamente 80 NM. En el instante t_{CR} , (start of a conflict resolution manoeuvre), la aeronave 1 se encuentra a 8 minutos de vuelo al punto de máximo acercamiento. Obviamente como las dos aeronaves están en movimiento ese punto puede haber cambiado de posición. Es importante observar que la secuencia no será en todos los casos la de ir reduciéndose la distancia, pueden ocurrir situaciones en las que las dos aeronaves pueden estar a menos de 10 minutos del punto de máximo acercamiento y nunca llegar al valor de 8 minutos debido a las trayectorias relativas que siguen las mismas. Como tercer escalón, está el instante denominado **CSTCA**, (Cabin STCA), siendo ésta una capa táctica, en donde la aeronave sigue recibiendo información de otro vuelo que está con trayectoria de pérdida de separación con nuestra aeronave. Si en esta capa no se realiza ningún tipo de corrección, se estará frente a una pérdida de separación. Sabiendo que ésta, es una alarma exclusiva de cabina se convino en llamarla CSTCA, teniéndose la certeza que se está a 2 minutos de la pérdida de separación. t_{SI} , (predicted time of separation minima infringement), es el instante calculado en el que se produciría la pérdida de separación. El instante t_{CF} , (predicted time of ACAS activation), es cuando una vez infringida la mínima de separación se activan las alarmas ACAS como última barrera para evitar la colisión. Las fases de funcionamiento del ACAS se mantienen según están especificadas actualmente, siendo ellas, el TA, en la que se dispone de 48 segundos para realizar maniobras evasivas para evitar una situación crítica, finalmente la alarma RA, en la que se cuenta con 35 segundos para que la tripulación realice todas las acciones correctivas necesarias para evitar una colisión. El tiempo transcurrido entre los instantes t_{CI} y t_{SI} es parte de la capa de provisión de la separación y a partir de t_{SI} se entraría en la capa Collision Avoidance.

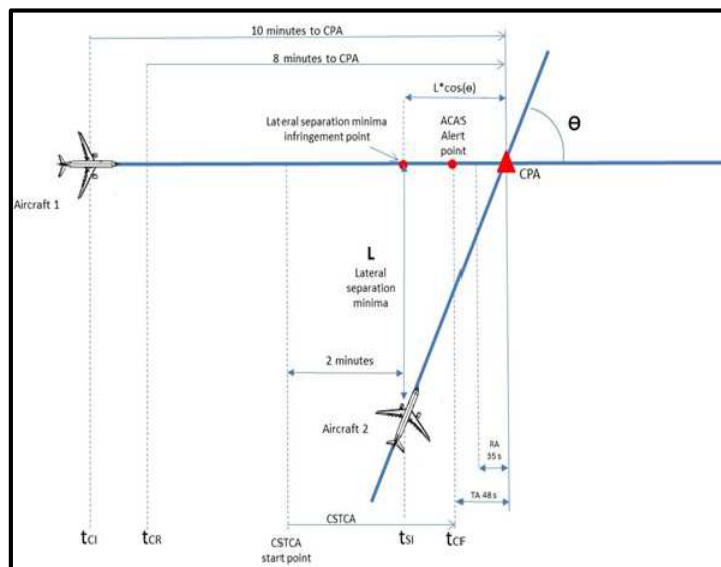


Figura 7: Cronología de la actuación del Sim CDTI.

8. ALGORITMOS EN LOS DIFERENTES PLANOS

8.1. Algoritmos de la función lógica vigilancia. Plano horizontal.

El Computador de Navegación se actualiza por los sensores de la aeronave y los parámetros recibidos por la ADS-B de otras aeronaves, procesa esta información, conforma mensajes, y los transmite automáticamente a todos aquellos tráficos circundantes que dispongan de ADS-B, informando sus parámetros e intenciones de vuelo. El ACAS realiza su relevamiento de tráficos circundantes, interrogando a las aeronaves en su proximidad, detectando así los transpondedores Modo S que responden, con esta información el Computador de Navegación procesa la información de tráficos circundantes. La Figura 8, es la función lógica de vigilancia en el plano horizontal, indica que tres aeronaves volando en cursos paralelos, por medio de la ADS-B, se mantienen informadas de los parámetros de operación de

dichos tráficos, manteniendo la auto-separación de las 50 NM, para no perder la misma, y entrar en conflicto.

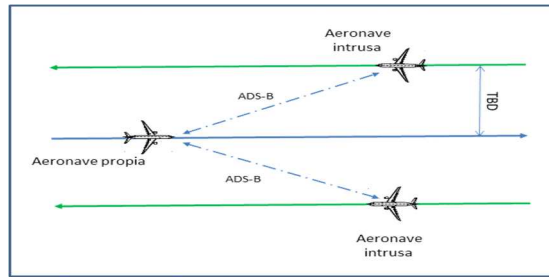


Figura 8: Función Lógica de Vigilancia (Plano Horizontal)

8.2. Algoritmos de la función lógica vigilancia. Plano vertical.

La Figura 9, se denomina función lógica de vigilancia en el plano vertical, con la información de ADS-B el sistema puede verificar que las aeronaves que están en su área llevan el espaciamiento adecuado, incluyendo la nuestra. Esta figura indica el algoritmo que se usará para esta vigilancia.

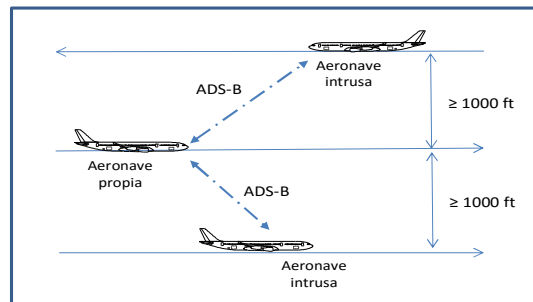


Figura 9: Función Lógica de Vigilancia (Plano Vertical)

9. CONCLUSIONES

Se ha intentado describir un nuevo sistema para vigilancia e implementar un nuevo modo de separación para espacios aéreos de baja densidad de tráfico aéreo y baja complejidad. El modo de separación consistiría en una separación cooperativa en un espacio aéreo previamente delimitado y publicado en la AIP del Estado correspondiente. Previamente a la entrada de la aeronave en ese espacio aéreo se procede a la coordinación entre los servicios ATS tradicionales, y la aeronave para que, entre en el volumen de espacio aéreo acordado, se produzca la delegación de la responsabilidad de la separación, siendo delegada por parte de ATC y asumida por la aeronave, durante el tiempo que ésta permanezca dentro del espacio aéreo así definido. Esta delegación de responsabilidad requiere de nuevos medios técnicos a implementar, principalmente en la cabina del avión, y de procedimientos operacionales tanto en ATC como en la aeronave.

9.1. Conclusiones sobre el sistema a bordo Sim CDTI

- El sistema detecta los conflictos y los categoriza según los tiempos al punto de máximo acercamiento,
- La categorización de conflictos es compatible con los avisos del sistema ACAS,
- El sistema resuelve conflictos adecuadamente según las prioridades establecidas,
- Se requiere aumentar la información disponible sobre los vuelos a elegir por la tripulación.
- La disponibilidad de información de intenciones de vuelo del resto de aeronaves ayudaría a la tripulación a conseguir una mejor y más rápida conciencia situacional.

- El aspecto de “negociación” entre aeronaves es un cambio importante en la actividad de la tripulación por lo que debe analizarse con mayor detalle.

Este trabajo presentado no es concluyente en cuanto a determinados aspectos, ya que aún quedan muchos elementos por investigar, mejorar y definir; sin embargo este trabajo realizado sí pretende ser un punto de partida en el sentido de que la auto-separación pueda comenzar a considerarse como un modo de separación viable, y que con el transcurrir del tiempo llegará a asumirse como “normal”, como en su momento lo fue el control radar cuando solamente se empleaba el control por procedimientos. Quedan pendientes de realizar algunas simulaciones para validar los procedimientos operacionales de cabina y ATC.

REFERENCIAS

[1] E. Ricaud, “*Impacto en la Seguridad Operacional por la Introducción de Nuevos Sistemas Embarcados*”, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, España, 2015.

[2] “*Principles of operation for use of ASAS*”, ICAO, Doc. 9689-AN-688, 1990.

[3] “*Manual on Airspace Planning Methodology for the Determination of Minimal Separation*”, ICAO, Doc. 9689-AN-953 First Edition, 1998

[4] L. Perez Sanz, “*Precision Trajectory Clearance: A new Separation Mode*”, ICAO, Doc: 9854-AN/458, 2005.