

# EVALUACIÓN MEDIANTE SIMULACIÓN DE NUEVOS SISTEMAS PARA MANTENER LA SEPARACIÓN DE A BORDO EN VUELO DE CRUCERO EN FORMA AUTOMÁTICA O ASISTIDA

Enrique Ricaud Álvarez<sup>a</sup> y Daniel S. Monserrat<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Electrónica, Facultad Regional Haedo, Universidad Tecnológica Nacional  
Paris 532, (1706) Haedo, Buenos Aires, Argentina.

<sup>b</sup>Departamento de Aeronáutica, Facultad Regional Haedo, Universidad Tecnológica Nacional  
Paris 532, (1706) Haedo, Buenos Aires, Argentina.  
Email: e2-marias@hotmail.com

## RESUMEN

*Para no comprometer la seguridad operacional, son importantes los sistemas con corrección automática de vigilancia embarcados, minimizando riesgos en el “control de tráfico aéreo”, facilitando así a las tripulaciones, información actualizada, permanente con correcciones automáticas en tiempo real. Este trabajo presenta el modelo, el simulador y los estudios realizados para evaluar la adaptabilidad de las tripulaciones ante un sistema totalmente automatizado, mediante el “piloto automático”, realizando las maniobras requeridas evitando conflictos con los tráficos circundantes y mantener la separación en vuelo crucero.*

*To avoid compromising safety, on board automatic correction systems are important, minimizing risks in air traffic control, providing crews with updated information, permanent with real-time automatic corrections. This paper presents the model, the simulator and studies to evaluate the adaptability of the crews to a fully automated system, using the "automatic pilot", performing the required maneuvers avoiding conflicts with surrounding traffic and maintaining separation in cruising flight.*

**Palabras clave:** CDTI, Separación de a bordo, Simulación, ADS-B

## INTRODUCCIÓN

El transporte aéreo comercial en estas últimas décadas se ha incrementado considerablemente y consecuentemente toda la industria aeronáutica. Para conservar los máximos estándares de seguridad en la navegación aérea, al mismo tiempo que tratando de optimizar los diferentes espacios aéreos, el grupo del Sistema de Vigilancia y Resolución de Conflictos (SCRSP)[1], de La Organización Internacional de Aviación Civil (OACI) definió el Sistema de Asistencia de Separación de a Bordo (ASAS), como: un sistema de aeronave basado en la vigilancia de a bordo, que asiste a la tripulación en vuelo para separar, en el entorno, su aeronave de otras. Por definición, es un sistema de cabina que facilita el mantener la separación respecto al tránsito circundante, proporcionando función de “vigilancia de a bordo”, sustentada por la aplicabilidad de la Vigilancia Dependiente Automática por Radiodifusión (ADS-B), más el Sistema Anticolisión de a Bordo (ACAS), siendo el uso de éstos, vitales para la vigilancia desde a bordo del espacio circundante, considerando que [2]:

- ADS-B facilita la vigilancia suministrando solamente datos usados, pero no desempeña función de vigilancia.
- El ACAS, desempeña función de vigilancia de a bordo estableciendo procedimientos de vigilancia y corrección automática, permitiendo a la tripulación utilizar dicha información.

El nuevo “sistema embebido” que se propone, suministra información de tránsitos circundantes, especialmente de los que hayan perforado los diferentes niveles o anillos de seguridad, realizando el

Ricaud y Monserrat – Evaluación Mediante Simulación De Nuevos Sistemas Para Mantener La Separación De A Bordo En Vuelo De Crucero En Forma Automática O Asistida

piloto automático, las necesarias maniobras correctivas con el objetivo de mantener las separaciones longitudinales, verticales y laterales propuestas, sin la intervención de la tripulación, y de ser requerida, solamente brindando indicación de las maniobras a la tripulación mediante el uso del director de vuelo. Puede ser utilizado tanto en vuelo crucero en espacio aéreo superior, espacio aéreo inferior, o en área de terminales.

Para lograr un sistema confiable de vigilancia a bordo, es necesario realizar algunos estudios integrales, que incluye especialmente el comportamiento de las tripulaciones, ante un sistema que posee dos alternativas:

- Con capacidad de correcciones automáticas por intermedio del piloto automático.
- Con la asistencia del director de vuelo.

Esta vigilancia y acciones correctivas, son realizadas por la introducción del nuevo sistema embebido, brindando en forma automática anuncios en el Visualizador de Cabina para Información de Tráfico (CDTI), con capacidad de realizar acciones correctivas o evasivas automáticas en tiempo real con respecto a los tránsitos circundantes. Así las tripulaciones disponen de información adicional, pudiendo verificar que las acciones ejecutadas por el piloto automático son las correctas.

El ASAS ha despertado interés en la comunidad aeronáutica, realizándose diversas pruebas operacionales, utilizando la ADS-B, el Servicio de Información de Tráfico por Radiodifusión –Traffic Information Services - Broadcast (TIS-B) y el CDTI como tecnologías habilitadoras proporcionando funciones de “conciencia situacional” de tráfico a bordo y en superficie, como así también de “espaciamiento de a bordo”.

Este sistema embebido incrementa las tareas de adquisición de datos, mejorando sustancialmente el conocimiento de la tripulación sobre los tráficos circundantes, lo cual sugiere beneficios operacionales adicionales, redundando en el conocimiento intensificado del espacio y una temprana identificación de aeronaves.

La aplicación del ASAS implica el uso de procedimientos operacionales aplicados. Los factores humanos se estudiarán detenidamente realizando ensayos, test y entrevistas personales con tripulaciones. Entre los más importantes está el aseguramiento en las separaciones, laterales y verticales impuestas. Los procedimientos mencionados ayudan en la toma de decisiones del Control de Tráfico Aéreo (CTA), proveyendo una alerta temprana de conflicto a las tripulaciones para el caso en que el piloto automático no haya ejecutado la maniobra apropiada. Su diseño contempla información adicional mediante el CDTI para el caso de tener que tomar una decisión por una alarma de ACAS u otro imprevisto.

Las aplicaciones ASAS son diversas, cubriendo un amplio espectro, que va desde una simple presentación en el visualizador instalado en la cabina, hasta aplicaciones que permiten a las aeronaves mantener las separaciones unas de otras. El principio de la operación ASAS, define cuatro categorías, dependiendo del grado de delegación de responsabilidad a bordo que exijan [1]:

- Categoría.1, se tiene conocimiento de la situación del tráfico.
- Categoría 2, espaciado a bordo.
- Categoría 3, separación a bordo.
- Categoría 4, auto-separación a bordo.

La Categoría 3, es la que específicamente nos interesa para este trabajo y en la que se ha puesto especial atención en maniobras ASAS con las aplicaciones ADS-B.

Ricaud y Monserrat – Evaluación Mediante Simulación De Nuevos Sistemas Para Mantener La Separación De A Bordo En Vuelo De Crucero En Forma Automática O Asistida

La introducción de este nuevo sistema, supone una carga laboral adicional que se traduce en mantener una vigilancia de abordó más activa dentro de la cabina, debiéndose supervisar información de los “sistemas embarcados convencionales” más los “sistemas embebidos” que suministran información de todos los tránsitos circundantes a los efectos de mantener informada en tiempo real a las tripulaciones y predecir conflictos, realizando automáticamente las maniobras evasivas necesarias.

Por razones de practicidad este estudio se ha circunscripto a la “aplicación de separación de a bordo”, durante la fase en “vuelo de crucero”.

## **METODOLOGÍA**

Las etapas de desarrollo responden a la metodología de este esquema, pero se entrelazan en ciclos de realimentación teóricos y experimentales, como en todo proceso de diseño.

Para poder llevar a cabo los ensayos antes mencionados se ha desarrollado y diseñado un simulador denominado “CDTI Sim (CockpitDisplay of TrafficInformation Simulator-Simulador del Visualizador de Cabina para Información de Tráfico-)”, destinado a realizar estudios integrales, enfatizándose no solo el comportamiento de las tripulaciones ante un sistema totalmente automático e independiente, sino también en la operación del mismo por parte de la tripulación.

El desarrollo del CDTI Sim ha sido llevado adelante con el concepto de sistema embebido, recordando que posee un número de características que lo definen como tal.

Los sistemas embebidos son sistemas construidos para realizar una tarea, completa o parcialmente independiente de la intervención humana. Otra propiedad en común, es que está especialmente diseñado para hacer un conjunto de tareas de la forma más eficiente, interactuando con elementos físicos en nuestro ambiente, acorde con estas características, un sistema embebido se puede definir como un sistema diseñado para realizar una tarea específica, (ej.: un sistema de control, una computadora, etc.).

Un típico ejemplo de un sistema embebido incluyen los sistemas de navegación en una aeronave, sistema de alarmado, etc. Muchos de estos sistemas son críticos en tiempo, lo que implica que un sistema embebido trabaja en un ambiente donde el control del tiempo es vital, siendo los resultados de una operación, relevantes si ocurren en una ventana de tiempo precisa.

Un piloto automático de un avión es un sistema embebido crítico en el tiempo. Si el sistema detecta que el avión por alguna razón está ingresando en una situación de pérdida, debería tomar las acciones necesarias correctivas dentro de milisegundos o implicaría resultados catastróficos.

El mismo criterio es aplicable al CDTI como un sistema embebido de alarmado y correcciones, además de ser crítico en el tiempo.

Por tal motivo, se están llevando a cabo ensayos con tripulaciones en simuladores de vuelo estáticos, se incluyen cuestionarios, y entrevistas reflejándose los comportamientos humanos, usados para justificar el nuevo sistema propuesto, además de optimizarlo.

El CDTI funciona de la siguiente manera:

Existe una pantalla instalada en la cabina de la aeronave, que mantiene informada, en tiempo real, a la tripulación de los tránsitos circundantes adicionando información de ayudas a la navegación, y un repetidor del Director de Vuelo (FD). La información es obtenida de diferentes fuentes: ADS-B, ACAS, constelaciones satelitales y otras, visualizando y supervisando las maniobras realizadas por el piloto automático, optimizándose las separaciones de los tránsitos circundantes.

Ricaud y Monserrat – Evaluación Mediante Simulación De Nuevos Sistemas Para Mantener La Separación De A Bordo En Vuelo De Crucero En Forma Automática O Asistida

### **Procedimiento Experimental y Resultados**

En cuanto a los aspectos experimentales, se resolvieron diseñando un instrumento similar a un CDTI convencional, con algunas importantes modificaciones y agregados, se lo denominó CDTI Sim, e instaló en un computador portátil.

En otro dispositivo similar se diseñó una cabina de vuelo, contando como sistemas básicos: un piloto automático, un director de vuelo, un sistema administrador de vuelo (FMS), y los sistemas necesarios para realizar una navegación. Conectándose los dos computadores, se emuló un simulador de vuelo real estático, así de esta manera se ejecutaron diferentes planes de vuelo reales.

Las tripulaciones que realizaron las diferentes experiencias son actualmente comandantes o primeros oficiales de la compañía Aerolíneas Argentinas, empresa de bandera. Este desarrollo fue realizado con software dedicado y adaptado al presente estudio.

Para desarrollar el prototipo del simulador “CDTI Sim”, en primera instancia se planteó el problema y modelo. Este modelo, el cual se desea estudiar, está conformado por una tripulación, (comandante y primer oficial), la información ASAS presentada en un CDTI (virtual) donde los sistemas externos suministran información de situación operacional, en tiempo real con respecto al resto de las aeronaves circundantes en el área, las que también son simuladas aleatoriamente.

Para este caso particular se planteó un sistema de tierra plana, ya que el objetivo del estudio se encuentra en un rango de  $\approx 200$  millas. La entrada a nuestro simulador es la definición de tráfico circundante, el cual queda determinado por su posición inicial relativa, rumbo, velocidad y nivel de vuelo con respecto a nuestra aeronave, definiéndose el comportamiento también de la misma manera, niveles de vuelo, velocidad, curso a seguir y distancia por recorrer, basados en un plan de vuelo real, provisto por la mencionada compañía, que determinándose una serie de puntos definen una ruta específica.

La estructura del simulador está conformada por el CDTI Sim quién se encarga de mostrar los tráficos circundantes, un computador de navegación que implementa la lógica para resolución de conflictos, generando los comandos necesarios para que el piloto automático realice las maniobras de corrección indispensables para mantener las separaciones necesarias y supervisadas por medio del director de vuelo, siempre con indicación en tiempo real.

Además del simulador, se ha diseñado una “checklist” para evaluar la actividad laboral de la tripulación, observando el desempeño y comportamiento, con sistemas embarcados convencionales y procedimientos estándares más la introducción del nuevo sistema embebido para mantener separación de a bordo automáticamente en vuelo de crucero, y consecuentemente, con la introducción de nuevos procedimientos en cabina por la implantación de conceptos de separación entre aeronaves en la fase de vuelos en ruta, en una operación ASAS con Categoría 3 (aplicación de separación de a bordo).

Analizados los resultados de las simulaciones, entrevistas y encuestas solicitadas a las tripulaciones, se procura estudiar cual es la influencia de este nuevo sistema inteligente incorporado en la cabina de una aeronave durante un vuelo de crucero, manteniendo automáticamente la separación de a bordo.

### **Algoritmos: Función de Vigilancia**

El Computador de Navegación recibe información de posición, velocidad, curso, altura, y tomando información relativa de las aeronaves circundantes a través del sistema ADS-B, recopilando toda la información de navegación de los tránsitos circundantes, conformándose mensajes y transmitiéndolos a todas aquellas aeronaves que posean ADS-B, aun sin transmisión de la propia aeronave.

Ricaud y Monserrat – Evaluación Mediante Simulación De Nuevos Sistemas Para Mantener La Separación De A Bordo En Vuelo De Crucero En Forma Automática O Asistida

El ACAS realiza sus propias mediciones sobre los tráficos circundantes, el sistema interroga a las aeronaves en su proximidad detectando los Transpondedores Modo S que responderán a sus interrogaciones.

### Algoritmos: Funciones Lógicas

Las salidas de las funciones de vigilancia son introducidas en las funciones lógicas realizando predicción de la situación del tráfico, actualizándose siempre en tiempo real. La función lógica ve hacia adelante (aproximadamente 20 minutos), comprobando si alguna aeronave que esté en su proximidad está en trayectoria de violar los criterios estándares de separación. Si es detectada una violación, la función lógica del computador de navegación calcula la maniobra apropiada para ser ejecutada por el piloto automático.

La información de tráfico que suministra el ACAS es utilizada para establecer el punto de mínima separación (CPA)-Closest Point of Approach-, para todas las aeronaves con respecto a la nuestra, así los tránsitos en situaciones críticas serán vigilados con mayor énfasis a los efectos de realizar las correcciones necesarias evitando las situaciones conflictivas.

### Modelo Matemático o Conceptual del CDTI

El simulador se basa en la teoría de operación del CDTI, más los algoritmos necesarios para simular las entidades reales que son modelados aquí como son los vehículos circundantes.

En cada momento se mide la separación vertical, y la distancia en el plano horizontal de nuestra aeronave con respecto a cada uno de los tráficos circundantes para calcular el tiempo al CPA.

Se plantea el sistema cartesiano que se observa en la siguiente Figura 1.

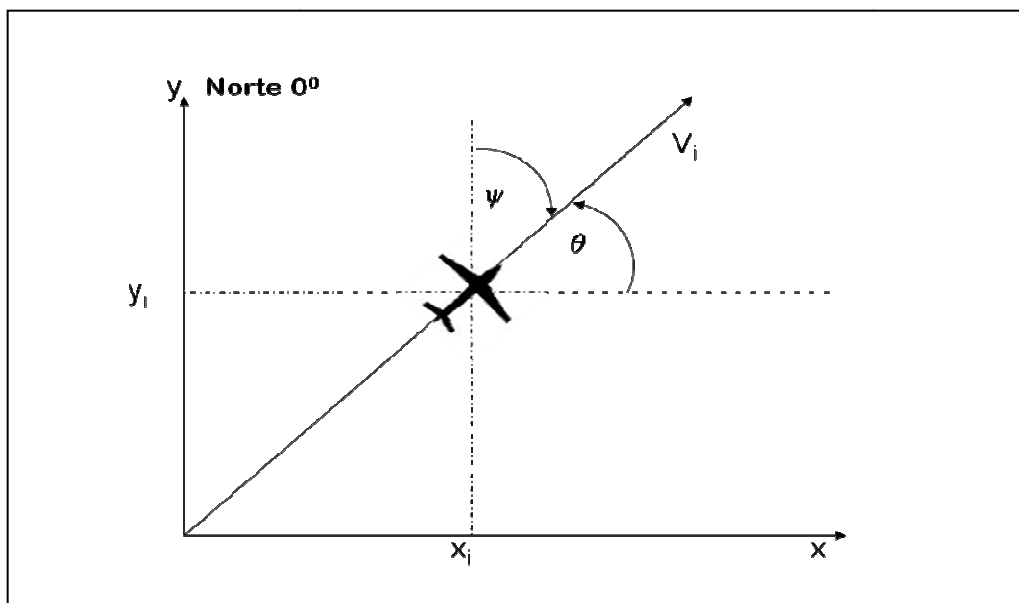


Figura 1. Sistema Cartesiano

Si llamamos  $\mathbf{r}_i$  a la posición tridimensional de la aeronave “i”, definida por las coordenadas  $(x_i, y_i, z_i)$ , tenemos entonces que la posición en el plano horizontal en un tiempo dado  $t$ , será:

$$(1)$$

Ricaud y Monserrat – Evaluación Mediante Simulación De Nuevos Sistemas Para Mantener La Separación De A Bordo En Vuelo De Crucero En Forma Automática O Asistida

De la misma forma la velocidad horizontal estará dada por:

$$\mathbf{V}_r^i = (V_x^i, V_y^i) \quad (2)$$

En este punto hay que considerar que el ASAS realmente no posee estas velocidades sino que brinda una versión filtrada por el denominado  $\alpha$ - $\beta$  Tracker[3].

La distancia ( $\mathbf{P}_r^{ni}$ ) y velocidad relativa ( $\mathbf{V}_r^{ni}$ ) entre nuestra aeronave “n” y la aeronave “i” estará dada por:

$$\mathbf{P}_r^{ni} = \mathbf{P}_r^n - \mathbf{P}_r^i \quad (3)$$

$$\mathbf{V}_r^{ni} = \mathbf{V}_r^n - \mathbf{V}_r^i \quad (4)$$

Definimos a la orientación del vector diferencia de velocidades entre aeronaves como:

$$\delta^{ni} = \tan^{-1} \left( \frac{V_x^{ni}}{V_y^{ni}} \right) \quad (5)$$

y a la orientación del vector diferencia de posición entre aeronaves como:

$$\gamma^{ni} = \tan^{-1} \left( \frac{P_x^{ni}}{P_y^{ni}} \right) \quad (6)$$

El tiempo CPA en el plano horizontal estará dado por:

$$CPA_r^{ni} = \frac{-|\mathbf{P}_r^{ni}|}{|\mathbf{V}_r^{ni}| \cos(\delta^{ni} - \gamma^{ni})} \quad (7)$$

Si de la misma forma tomamos el eje z, una vez que se obtiene la posición y velocidad relativa entre ambas aeronaves, y definiendo a  $CPA_z^{ni}$  como el tiempo al CPA en el eje z, entonces:

$$CPA_z^{ni} = -\frac{P_z^{ni}}{V_z^{ni}} \quad (8)$$

De esta forma podremos obtener los tiempos para los tres ejes ( $CPA_r^{ni}, CPA_z^{ni}$ ) y las distancias ( $\mathbf{P}_r^{ni}, P_z^{ni}$ ) calculadas en un momento t dado. Definiendo la separación mínima admisible entre aeronaves de 304 metros (1000feets) y basados en el tiempo al CPA se define la situación de cada tráfico “i” ( $st^i$ ) circundante acorde al siguiente algoritmo:

```

if  $P_z^{ni} < 213.36$  &&  $CPA_r^{ni} < 35$  secs then  $st^i = RED$ 
else if  $P_z^{ni} < 213.36$  &&  $CPA_r^{ni} < 48$  secs then  $st^i = ORANGE$ 
else if  $P_z^{ni} < 213.36$  &&  $CPA_r^{ni} < 120$  secs then  $st^i = YELLOW$ 
else if  $P_z^{ni} < 213.36$  &&  $CPA_r^{ni} < 360$  secs then  $st^i = LIGHTBLUE$ 
else if  $P_z^{ni} < 213.36$  &&  $CPA_r^{ni} < 480$  secs then  $st^i = GREEN$ 

```

Es importante mencionar que a los fines de la simulación si el  $CPA_r^{ni}$  es mayor a 480 secs., el tráfico es automáticamente reciclado por el sistema haciéndole tomar un nuevo curso, altura y velocidad para aumentar la posibilidad de generar un conflicto en un tiempo cercano.

Ricaud y Monserrat – Evaluación Mediante Simulación De Nuevos Sistemas Para Mantener La Separación De A Bordo En Vuelo De Crucero En Forma Automática O Asistida

### Resolución de Conflictos

Basados en la situación de cada aeronave  $st^i$ , tendremos determinado un tiempo de resolución de conflicto ( $T_{RA}$ ).

Las indicaciones para resolver conflicto ya sea mediante las Vbars del director de vuelo, o bien automáticamente por medio del piloto automático se tratan acorde al siguiente algoritmo:

Primero se estima la posición futura para el caso en que la aeronave ascienda durante un tiempo  $T_{RA}$ :

$$(P_{z,T_{RA}}^i)_{up} = P_z^i + (V_z^i + \Delta_z^i * T_{RA}) \quad (9)$$

Siendo  $\Delta_z^i$  un valor fijo correspondiente a esa  $st^i$ , por ejemplo en el caso del ACAS el valor es de 457 mts/min. Luego se calcula para el caso en que se mantendría la misma altura:

$$(P_{z,T_{RA}}^i)_{curr} = P_z^i + (V_z^i * T_{RA}) \quad (10)$$

por último, se calcula el tiempo si se bajara a un régimen  $V_{ad}$

$$(P_{z,T_{RA}}^i)_{down} = P_z^i + (V_z^i - \Delta_z^i * T_{RA}) \quad (11)$$

Entre estos tres casos se calcula la posición final de la aeronave respecto a la aeronave “i” en cuestión:

$$casoA \rightarrow |(P_{z,T_{RA}}^n)_{up} - (P_{z,T_{RA}}^i)_{curr}| \quad (12)$$

$$casoB \rightarrow |(P_{z,T_{RA}}^n)_{down} - (P_{z,T_{RA}}^i)_{curr}| \quad (13)$$

La resolución estará dada entonces por el siguiente algoritmo:

#### - . DOWN .-

if ((B > A) and (A < 213.36)) or ((B ≤ A) and  
(Exists n for (0, T<sub>RA</sub>) such that  $P_{z,t+n}^{ni} = 0$ ) and (B  
≥ 213.36))

#### - . UP .-

if ((B ≤ A) and (B < 213.36)) or ((B > A) and  
(Exists n for (0, T<sub>RA</sub>) such that  $P_{z,t+n}^{ni} = 0$ ) and (A ≥  
213.36))

#### - . CURRENT .-

para todos los casos restantes.

### Visualizador De Cabina Para Información De Tráfico

Consiste en una pantalla instalada en la cabina de vuelo de la aeronave informando en tiempo real a la tripulación de los tránsitos circundantes y adicionando información de ayudas a la navegación e informando predictivamente los potenciales conflictos. La información de tráfico para el CDTI es obtenida desde el computador de navegación, y de una gran base dedicada de datos de navegación,



Ricaud y Monserrat – Evaluación Mediante Simulación De Nuevos Sistemas Para Mantener La Separación De A Bordo En Vuelo De Crucero En Forma Automática O Asistida

diseñada específicamente. Se usa una pantalla compartida multifunción (MFD), mostrando información de tráficos circundantes.

Ésta es procesada y mostrada en el CDTI de la forma siguiente: la Unidad Procesadora de Monitor, recibe información de vigilancia de tráfico disponible para enlace de datos y un Computador de Navegación es alimentado por los diferentes sistemas y sensores instalados en la aeronave, además de sistemas terrestres, satelitales, cuenta también con una basta Base de Datos de Navegación [2]. Cada aeronave tiene instalado un Transponder Modo S, quien permite transmitir el denominado “extended squitter”, y recibir información del Servicio de Información de Tráfico (Figura 2)[4].

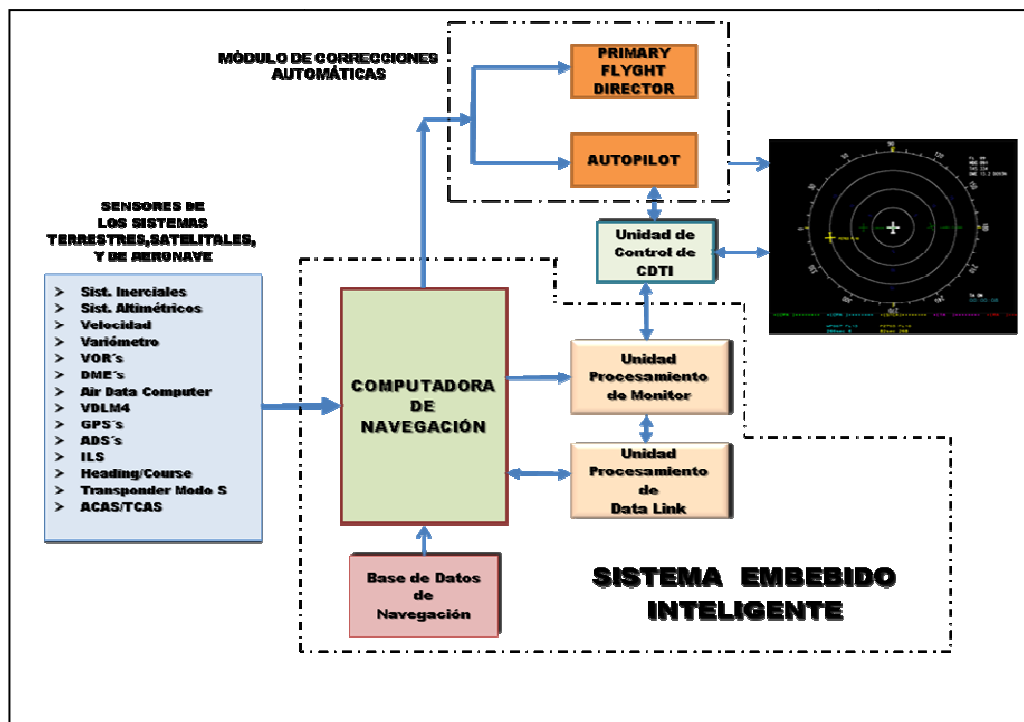


Figura 2. Diagrama del sistema embebido

Además, este sistema cuenta con una salida hacia el computador del piloto automático que es quien realizará automáticamente las maniobras necesarias para mantener la separación de a bordo, mostrando las acciones correctivas en el FD, y los resultados finales en el CDTI.

El sistema propuesto tiene características particulares:

- (1) La separación horizontal debe ser de 5 nm y la vertical de 304 metros (1000feets).
- (2) El closedpoint of approach -punto de mínima separación entre aeronave, (CPA) de 6 minutos es el punto de mínima separación entre aeronaves;previamente en  $t_0$ , dos minutos antes, existe un anuncio preventivo indicando la presencia de tráficos que de persistir con ese curso entrarán ineludiblemente en conflicto[5][6].



Ricaud y Monserrat – Evaluación Mediante Simulación De Nuevos Sistemas Para Mantener La Separación De A Bordo En Vuelo De Crucero En Forma Automática O Asistida

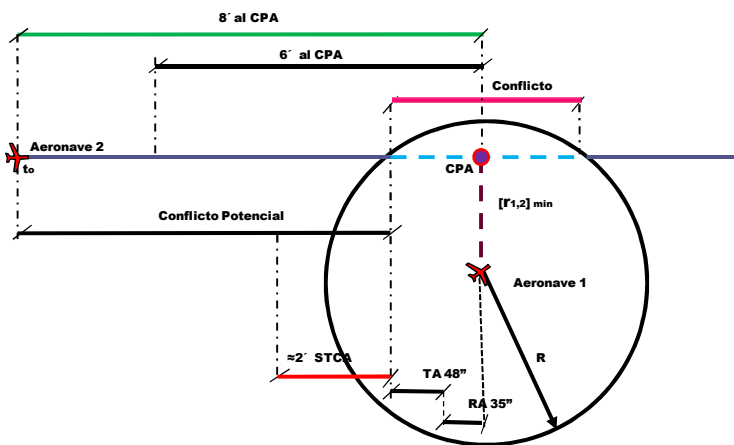


Figura 3. Tiempos y zonas definidas para el sistema propuesto.

La Figura 4, representa la presentación en forma completa del propuesto sistema embebido para mantener separación de a bordo en vuelo crucero. Podemos observar los diferentes tránsitos circundantes, siendo potenciales intrusos. Se muestra cuáles son los parámetros con que cuenta el nuevo sistema para informar en tiempo real a la tripulación, también se aprecian diversos niveles de alarmas o ventanas reservadas para las diferentes etapas del vuelo.

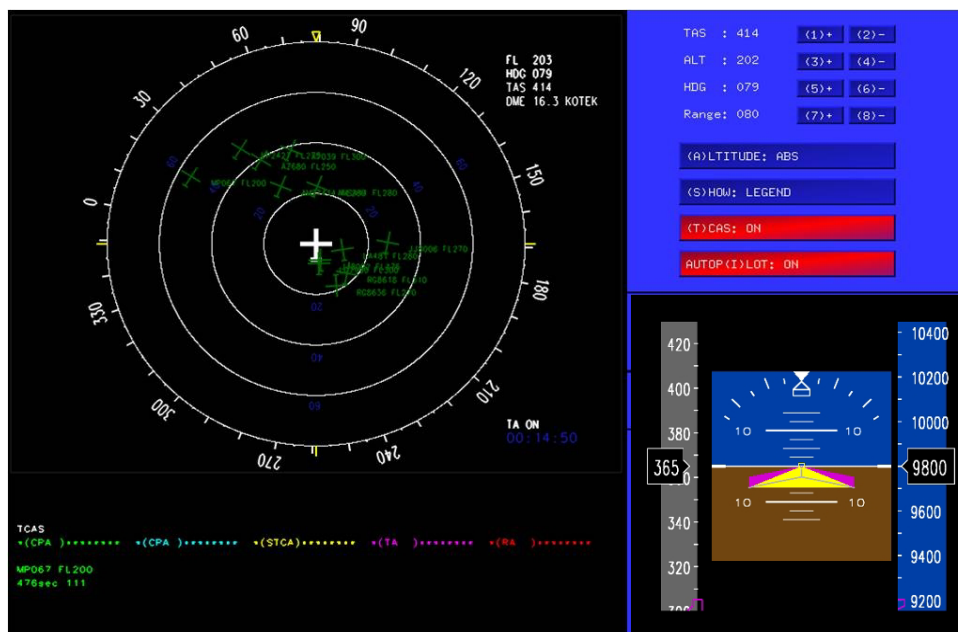


Figura 4. Presentación en ventanilla 1 (uno), intrusos, están a 8 minutos de CPA

En la Figura 4, se observa la ventana de tiempo, verde, indicando a la tripulación que el tiempo faltante al CPA es de 8 minutos. Tiempo éste que le queda al intruso para llegar al borde externo del punto de mínima separación entre aeronaves (Primer anillo de seguridad).

Ricaud y Monserrat – Evaluación Mediante Simulación De Nuevos Sistemas Para Mantener La Separación De A Bordo En Vuelo De Crucero En Forma Automática O Asistida

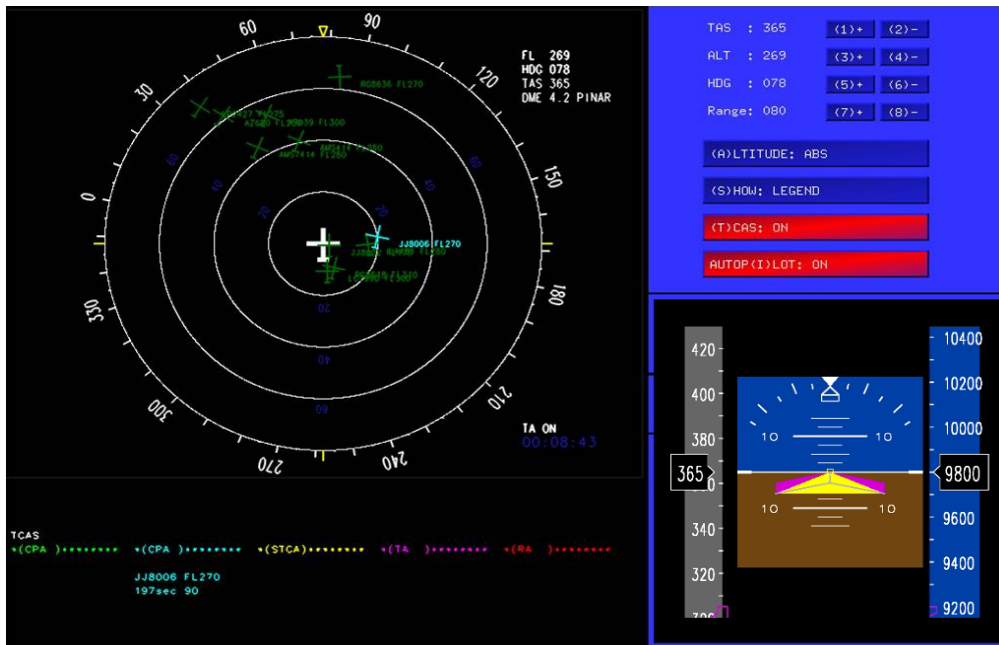


Figura 5. Advertencia, ventanilla 2, está a 6 (seis) minutos de separación.

La ventanilla de tiempo, celeste-turquesa, muestra advertencias de tránsitos en las cercanías, cuando lo separa seis minutos, al denominado punto de mínima separación entre aeronaves (ver Figura 5) (Segundo anillo de seguridad).

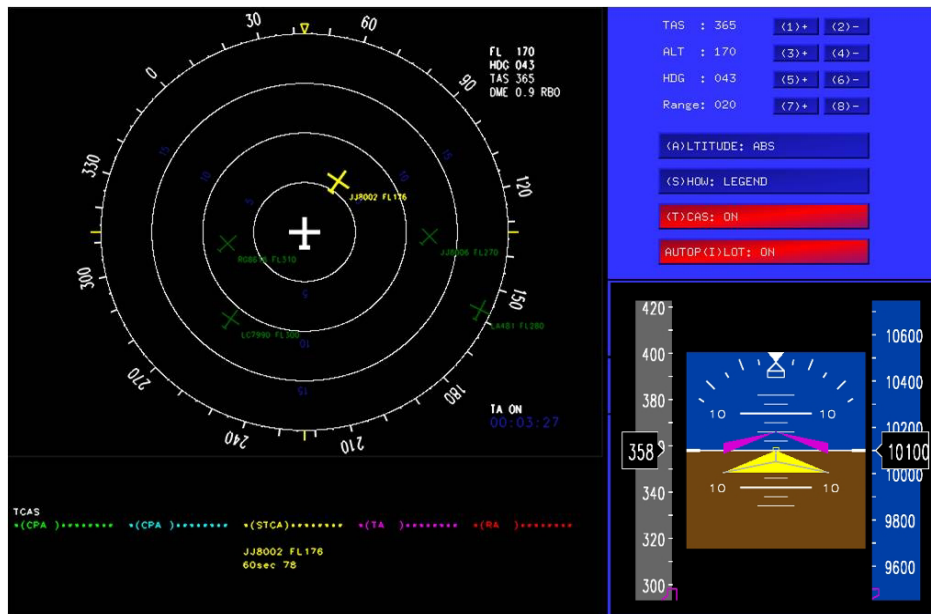


Figura 6. Advertencia, ventanilla 3, implica 2 (dos) minutos antes del disparo de la alarma ACAS.

La ventanilla tres corresponde a short term conflict alert-alerta de conflicto a corto plazo (STCA)-, significando que el intruso está a dos minutos de perforar el límite del alerta de tráfico (TA) [7]. Cuando es detectado, se anuncia con una alarma color amarillo intenso y otra audible suave y persistente (ver Figura 6) (Tercer anillo de seguridad).

Ricaud y Monserrat – Evaluación Mediante Simulación De Nuevos Sistemas Para Mantener La Separación De A Bordo En Vuelo De Crucero En Forma Automática O Asistida

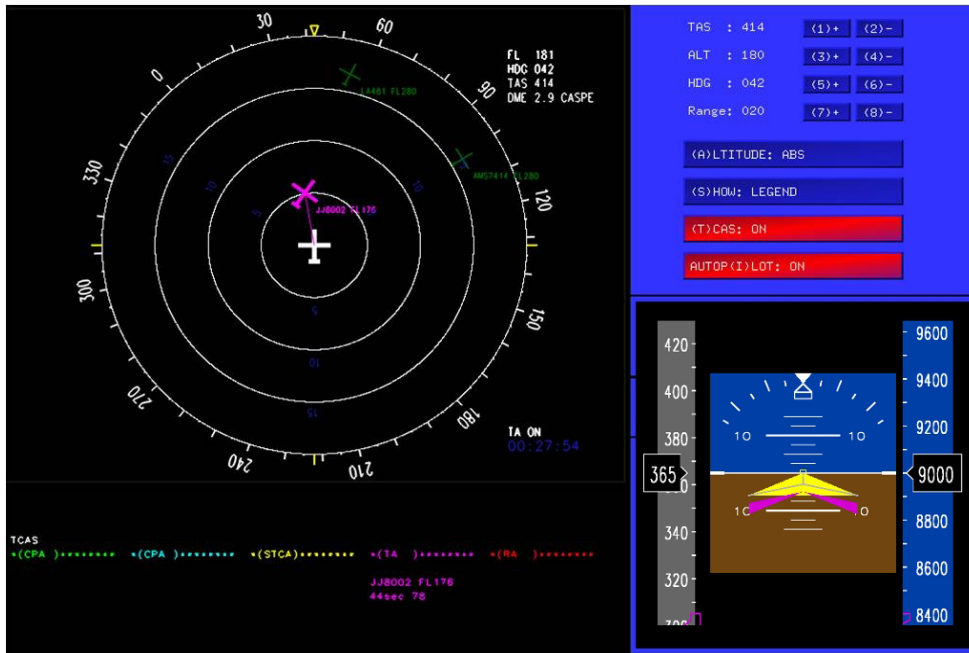


Figura 7. Advertencia, ventanilla 4, indica 48 (cuarenta y ocho) segundos de separación.

La Figura 7, la ventanilla fucsia, parpadeante y sonora con un nivel de audio muy intenso, indica que la separación es de 48 segundos antes de arribar a la zona de conflicto. Estando vinculada al alerta de tráfico del ACAS, el intruso está vectorizado y enmarcado a los efectos que la tripulación tome conciencia situacional del nivel de alarma y no es solo precautorio sino que se deben tomar decisiones urgentes, dado que el STCA ha sido vulnerado y transpuesto. En estos casos de emergencia se comunicará al control de tránsito solicitando permiso para tomar la responsabilidad total de las acciones a tomar (Cuarto anillo de seguridad). Esta ventanilla mostrará los tránsitos que comprometen a la seguridad de nuestra aeronave y que no fueron evadidos oportunamente por el piloto automático, situación ésta que el sistema automático debe evitar por todos los medios, mostrando siempre los tráfcos.

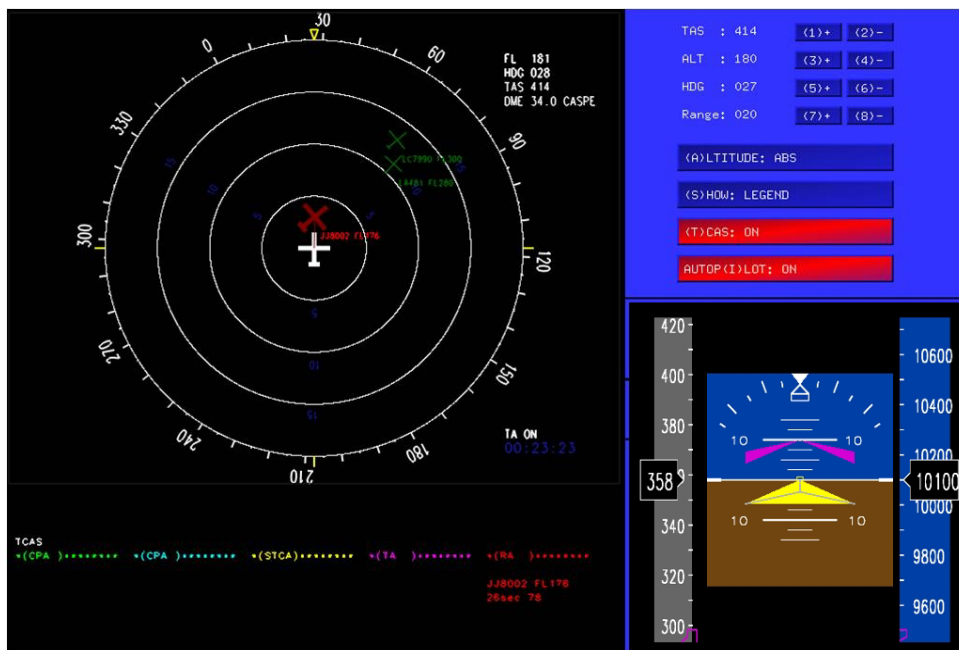


Figura 8. Advertencia, ventanilla 5, indica 35 (treinta y cinco) segundos de separación.

Ricaud y Monserrat – Evaluación Mediante Simulación De Nuevos Sistemas Para Mantener La Separación De A Bordo En Vuelo De Crucero En Forma Automática O Asistida

En la Figura 8, se observa que la alarma está relacionada en forma directa con alerta de resolución, de un color rojo parpadeante intenso y señal audible sonora persistente de muy alto nivel. Por este motivo se vectoriza al intruso con el objeto de tener una visión clara del tránsito que está a 35 segundos de entrar en zona de colisión, la resolución de alerta de tránsito debe ser tomada inminentemente (Quinto anillo de seguridad).

Siendo este el Quinto y último Anillo de Seguridad, en donde el piloto automático debió actuar antes de llegar a este nivel de conflicto, caso contrario disparará una alarma de imposible realizar correcciones, instante este que la tripulación deberá actuar irremediamente tomando el comando de la aeronave.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Habiendo llevado a cabo varias experiencias, con diferentes tripulaciones, con el mencionado simulador, contando con diversas entrevistas y encuestas completadas por aquellas, se puede aseverar que los resultados obtenidos son muy prometedores.

Las simulaciones fueron realizadas no solo con gran predisposición y profesionalismo por parte de las tripulaciones, sino también arrojaron resultados de gran interés. Hay que resaltar que las tripulaciones convocadas se encontraron muy satisfechas con el sistema embebido propuesto.

Las tripulaciones elogiaron la automatización y características técnicas del sistema, también se enfatizó el hecho de saber que las acciones correctivas necesarias para mantener las separaciones vertical y lateral eran realizadas por el sistema embebido en forma automática, y con indicaciones en tiempo real.

Se resaltó en la necesidad de una mayor capacitación y entrenamiento de las tripulaciones, con una correspondencia en la adecuación de los cursos impartidos por la incorporación de las nuevas tecnologías en las cabinas de vuelo. Las tripulaciones deben ser concientizadas que deberán tener una actitud de supervisión con respecto a los sistemas de automatización, especialmente en la fase de vuelo crucero.

Fue elogiado el hecho que la conciencia situacional de la tripulación es mantenida en todo momento actualizada en tiempo real de los tránsitos circundantes.

Una vez operado el nuevo sistema durante algunos minutos, la preocupación de algunas tripulaciones con respecto a su fiabilidad por la automatización fue disminuyendo, la mayoría dio una opinión favorable a la misma y se sintió cómoda y segura.

Se ponderó la sencillez con que se podía acceder a una fácil lectura del CDTI Sim, dado que con un rápido vistazo las tripulaciones ya estaban informadas de los tránsitos circundantes y su situación.

Todos coincidieron con el grado de alarma indicando el tipo de emergencia, que era adecuado.

Existieron también algunas observaciones de preocupación. El hecho de comandar una aeronave con equipamiento de alta complejidad y un muy elevado grado de automatización conlleva a pequeñas distracciones, lo cual generó inquietud por este hecho.

Se hizo mención de la reducción del trabajo, en esta fase del vuelo, como consecuencia de la automatización por parte del nuevo sistema.

Se manifestó que la tripulación al no estar familiarizada con el nuevo sistema, aparece con falta de seguridad en el sistema, debido que éste realiza todas las correcciones necesarias en forma automática.

Ricaud y Monserrat – Evaluación Mediante Simulación De Nuevos Sistemas Para Mantener La Separación De A Bordo En Vuelo De Crucero En Forma Automática O Asistida

Algunos pilotos opinaron que no percibieron ninguna ventaja con respecto a la seguridad, pero si aceptaron que es una operación más descansada por lo menos en esta fase del vuelo.

Se sugirieron realizar algunas modificaciones menores, mejoras, agregar alarmas de seguridad por falta de corrección o respuesta, cambiar tonos de las alarmas.

El conjunto de las preguntas realizadas fueron completadas por las tripulaciones junto con las entrevistas personalizadas pudiéndose observar resultados de gran interés:

- Las tripulaciones son propensas a la automatización.
- Los sistemas electrónicos dedicados a la vigilancia del entorno en vuelo deberían mejorar la interfaz con las tripulaciones.
- Los vuelos con vigilancia permanente y automatizadas sus correcciones para mantener las separaciones verticales y horizontales, son de gran interés por su seguridad.
- Se deberá trabajar en los sistemas automatizados para evitar que las tripulaciones tengan distracciones.

También se plantearon algunas sugerencias para ser incluidas en el sistema, las mismas son:

- Se deberá seguir trabajando en la interfaz hombre-máquina (panel de vuelo).
- Reducción de los tiempos de alarmado.
- Los departamentos de capacitación deberán replantear los contenidos de cursos, refrescos, etc., previendo que las tripulaciones se adapten sin mayores inconvenientes a las nuevas tecnologías.

## CONCLUSIONES

Como conclusiones preliminares podemos adelantar que si bien el sistema propuesto en general tuvo gran aceptación por diferentes tripulaciones que realizaron simulaciones, existieron sugerencias de realizar algunas modificaciones, mejoras, y agregar alarmas de seguridad por falta de corrección o respuesta.

Otro de los importantes comentarios que fueron enfatizados, y preocupó, fue el exceso de confianza de saber en todo momento en donde específicamente están los tránsitos y que un sistema embebido realizara las acciones correctivas necesarias para evitar los potenciales conflictos.

En cuanto a los factores humanos, hubo observaciones y críticas referidas a definir con mayor claridad quién debía realizar algunas tareas no especificadas claramente y no catalogadas en los procedimientos.

Otro detalle importante que manifestó la tripulación, el no estar familiarizados con el nuevo sistema, era la falta de seguridad de la propia tripulación dado que el sistema debía realizar todas las correcciones necesarias en forma automática y sin previa consulta a la tripulación.

Se elogió el saber, que su conciencia situacional era en todo momento informada de todos los tránsitos circundantes, siempre en tiempo real.

Demás está aclarar, que estas conclusiones no son definitivas, dado que se realizarán más simulaciones, incorporando las sugerencias realizadas.

Queda pendiente para futuras investigaciones y simulaciones la aplicabilidad de un sistema embebido para espacios aéreos superiores e inferiores de alta densidad, y zonas de terminales con los procedimientos de aproximación.

Ricaud y Monserrat – Evaluación Mediante Simulación De Nuevos Sistemas Para Mantener La Separación De A Bordo En Vuelo De Crucero En Forma Automática O Asistida

Se considera que estas investigaciones traería aparejado el desarrollo de sistemas con mayor velocidad de correcciones, una mayor automatización, y a la vez el desarrollo de más niveles de seguridad con otras tecnologías proveyendo una mayor confiabilidad.

## REFERENCIAS

[1] Undécima Conferencia de Navegación Aérea, Montreal, 22 de setiembre de 2003, AN-Conf/11-WP/64 – 02/07/03.

[2] Primera reunión. Montreal, 8-19 de noviembre de 2004, SCRSP/1-WP/29. 13/8/04.

[3] DoT, “Introduction to TCAS II Version 7”, Department of Transportation, Federal Aviation Administration, USA, 2000.

[4] Battiste, V., Ashford, R., “Initial Evaluation of CDTI/ADS-B for Commercial Carriers: CAA’s Ohio Valley Operational Evaluation”, NASA Ames Research Center, Baltazar Oscar Olmos, MITRE Center for Advanced Aviation System Development, 2000.

[5] García González, E.J. , Sáenz Nieto, F.J, “Clasificación y Evaluación de Eventos de Proximidad en Espacios Aéreos de Ruta y Alto Densidad”, CPA, España, 2009.

[6] Sáez Nieto, F.J., García González E.J., Mc. Auley, G., “In-Depth Analysis of Proximate Events Based on Radar Data Processing”, Eight USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar, ATM, 2009.

[7] Owusu, K., Dunstonem, G., “Development of Cockpit Display of Traffic Information (CDTI)”, ADS-B TF/3-IP/10, International Civil Aviation Organization (ICAO-OACI), 2005.