

# SISTEMAS EMBARCADOS DEDICADOS PARA MANTENER SEPARACION DE A BORDO EN VUELO CRUCERO

Ing. Enrique Ricaud\*<sup>1</sup>

*\*Departamento de Ingeniería Electrónica, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Haedo.*

**Palabra Clave:** vigilancia, resolución de conflictos, ASAS, ADS-B, CDTI.

## RESUMEN

Para que la seguridad operacional nunca se vea comprometida, es importante contar con sistemas de vigilancia a bordo con el fin de minimizar los riesgos latentes en el control y así disminuir la carga laboral del personal de control de tráfico aéreo (CTA). Estos sistemas hacen que las tripulaciones tengan mayor cantidad de información de tránsitos circundantes, con lo que se incrementa su carga laboral. El grupo de Sistema de Vigilancia y Resolución de Conflictos (SCRSP), definió al 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 su aeronave de otras aeronaves en el entorno. ASAS es aplicado a la gestión del tránsito aéreo (ATM). Éste por definición, es un sistema de cabina que ayuda a mantener la separación respecto al tránsito restante, **proporcionando** función de “vigilancia de a bordo”, sustenta la aplicación de vigilancia dependiente automática por radiodifusión (ADS-B), el uso de éste es importante para la vigilancia de a bordo. La utilización del ASAS se apoya en el empleo del ADS-B y sistema anticollisión de a bordo (ACAS). La diferencia entre éstos radica en que: el primero, facilita la vigilancia **suministrando** datos usados para vigilar, pero no desempeña la función de vigilancia; a diferencia que el ASAS desempeña la función de vigilancia de a bordo, establece procedimientos de vigilancia y permite a la tripulación utilizar información de vigilancia.

Esta vigilancia se realiza por la introducción de un nuevo sistema, el visualizador de cabina para información de tráfico (CDTI), **brinda** información en tiempo real de los tránsitos circundantes, las tripulaciones tienen mayor carga laboral en cabina durante el vuelo. Este estudio pretende explorar, estudiar y evaluar el comportamiento de las tripulaciones con un incremento sustancial de trabajo, y con exceso de información. Esta carga laboral adicional se traduce en mantener una vigilancia de abordaje más activa en la cabina, y supervisar información en los sistemas embarcados convencionales más el CDTI. Este estudio está acotado exclusivamente a la “**aplicación de separación de a bordo**”, durante la fase “**vuelo crucero**”. Se ha desarrollado y diseñado un simulador similar a un CDTI para realizar un estudio integral, poniendo énfasis en el comportamiento de las tripulaciones. Para ello, se ha llevado a cabo ensayos con una tripulación en un simulador de vuelo estático, y posteriores cuestionarios en los que se reflejan comportamientos humanos, para optimizar el nuevo sistema incorporado.

---

<sup>1</sup> Ing. Enrique Ricaud: [e2-marias@hotmail.com](mailto:e2-marias@hotmail.com); [ericaud@frh.utn.edu.ar](mailto:ericaud@frh.utn.edu.ar). Docente del Departamento de Ingeniería Electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo. París 532, (1706), Provincia de Buenos Aires. Part. (54-11) 4983-4259. Doctorando en la Universidad Politécnica de Madrid, en “Infraestructura Aeroespacial”, en el Departamento de Infraestructura, Sistemas Aeroespaciales y Aeropuertos.

## 1. INTRODUCCIÓN

La demanda del transporte aéreo comercial en estas últimas décadas ha crecido en forma importante y como consecuencia de ello, toda la industria aeronáutica. Por tal motivo y para que la seguridad de la navegación aérea no se vea alterada, se trata de optimizar los diferentes espacios aéreos y extremar los recaudos en la seguridad operacional por parte de las empresas transportadoras. En vista de lo expuesto, se implementó el ASAS, que es de gran utilidad para algunas de las funciones de gestión en conflictos y sincronización del tránsito con el concepto operacional de gestión del tránsito aéreo (ATM). El estudio que se propone está orientado a la capacidad, calidad laboral y adaptabilidad de las tripulaciones en relación a los nuevos sistemas embarcados dedicados a realizar diferentes procedimientos en vuelo crucero.

La utilización del ADS-B es una sólida base para empezar a describir el uso operacional de la vigilancia de a bordo. El uso del sistema ASAS se apoya en la utilización del ADS-B y ACAS, incluyendo características operacionales sobre las aplicaciones de vigilancia de a bordo. Los cambios en las funciones y responsabilidades se deben establecer claramente.

En este estudio, se pone énfasis en la “aplicación de separación de a bordo”, para conseguir la Seguridad Operacional Aérea requerida, siendo de importancia primordial un sistema embarcado basado en la vigilancia de a bordo que asista permanentemente a las tripulaciones, teniendo como objetivo de separar su aeronave de las demás, ya sea en rutas como en área de terminales. El ASAS necesita instalaciones terrestres de ADS-B, tecnología habilitadora, proporcionando las funciones de conciencia de la situación del tráfico a bordo y en la superficie, así como de espaciamiento de a bordo. Para lograr un sistema confiable de vigilancia a bordo con asistencia a las tripulaciones para la separación de su aeronave de otras, siendo necesario realizar una serie de estudios integrales, incluyendo el comportamiento de las tripulaciones, condicionantes éstos de gran importancia para tener en cuenta. Existe un considerable interés en el ASAS, que incluyó pruebas operacionales en distintas partes del mundo. La FAA en E.E.U.U. inició un programa hacia fines de los noventa (julio de 1999), que se conoce como SF21 y utilizó ADS-B, TIS-B y CDTI como tecnologías habilitadoras para proporcionar las funciones de “conciencia de la situación” del tráfico a bordo y en la superficie, como así también de “espaciamiento de a bordo”. Las primeras pruebas y evaluaciones operacionales de las aplicaciones ASAS en SF21 se centraron en las transportadoras aéreas comerciales en un ámbito aeroportuario con gran afluencia de tránsito como en el de Alaska y aeronaves de mediano porte. Las actividades de vuelo durante la Evaluación Operacional Ohio Valley (OpEval), fueron limitadas a aplicaciones del CDTI. El concepto operacional y los requerimientos CDTI asociados fueron probados durante la mencionada evaluación. Éste aumentaba las tareas de adquisición y acercamientos visuales, mejorando el conocimiento del piloto sobre el tráfico circundante. Lo cual en primera instancia, sugiere beneficios en la actuación operacional, traducido en forma de conocimiento intensificado del espacio y una potencial reducción en la errónea identificación de naves que reciben órdenes del CTA. En segunda instancia, los factores humanos se estudiaron con más detenimiento realizando nuevas pruebas con tripulaciones y controladores. La evaluación consolidó la aprobación operacional del CDTI, coincidiendo las tripulaciones en que éste, agregó adquisición visual, acercamiento, seguridad en la estación, seguimientos de los ascensos/descensos. Referente a los factores humanos la adquisición visual con y sin el CDTI es consecuente con las declaraciones, en que el visualizador fue una importante ayuda y de fácil uso en todos los casos. Las tripulaciones identificaron aspectos que necesitaban ser considerados para el uso del CDTI para apoyar la adquisición visual de tráfico y otras aplicaciones ADS-B. Como ya se ha expresado, no solo la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de los E.E.U.U. realiza investigaciones y desarrollos para ASAS a

través del concepto de gestión del tránsito distribuida entre aire y tierra, concentrado en las trayectorias “espaciamiento de a bordo” y “autoseparación de a bordo”, también la Unión Europea, donde hay muchos proyectos que son para promover y optimizar la eficiencia de las operaciones del transporte aéreo basados en el uso de ADS-B y ASAS, iniciativas de la Comisión Europea, EUROCONTROL y varios Estados. Las aplicaciones del sistema ASAS son conjuntos de procedimientos operacionales destinados a los controladores y miembros de las tripulaciones que utilizan dicho sistema para poder cumplir con determinados objetivos operacionales. Entre los más importantes, es el aseguramiento en las separaciones longitudinales y verticales impuestas por el CTA en áreas oceánicas y de baja densidad de tránsito, tal cual lo propone OACI con la ADS. Las aplicaciones ASAS introducen procedimientos operacionales nuevos para ayuda a la toma de decisiones de los controladores con una alerta de conflicto a las tripulaciones. De igual modo que en el caso de cualquier equipo o procedimiento nuevo, para la introducción del ASAS, se requeriría probar que se cuenta con el nivel de seguridad apropiado. Las aplicaciones ASAS son muy diversas y cubren un amplio espectro que va desde una simple presentación en el CDTI instalado en cabina hasta aplicaciones que permiten a las aeronaves separarse unas de otras en vuelo libre.

El principio de operación ASAS, define cuatro categorías, dependiendo del grado de delegación de responsabilidad a bordo que exijan ([AN-Conf/11-WP/190, octubre 2003](#)<sup>1</sup>):

- 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 autoseparación de a bordo.

La Cat. 3, es la que específicamente nos interesa para este trabajo y le haremos una muy breve reseña: “*Categoría 3 o separación a bordo*”, la responsabilidad pasa a ser de la tripulación de un vuelo en particular a los efectos de suministrar separación a un único tráfico específico, el tráfico restante sigue siendo responsabilidad del CTA, bajo condiciones particulares, una vez superada la maniobra, el CTA recupera por completo las responsabilidades delegadas. Realizadas diferentes pruebas, se ha puesto especial énfasis en maniobras ASAS a las aplicaciones ADS-B: secuenciamiento, (sequencing), y de convergencia, (merging).

En las maniobras ASAS de secuenciamiento, una vez que las dos aeronaves son situadas en la misma ruta por el controlador de tránsito aéreo, se delega a la tripulación de una de ellas la responsabilidad de seguir a la otra con una separación también dada por el CTA. En las maniobras ASAS de convergencia, las aeronaves vuelan por rutas convergentes a una tercera, recibiendo una tripulación específica la instrucción de llegar ocho millas detrás de la segunda al punto de convergencia de rutas. Esta carga laboral adicional se traduce en mantener una vigilancia de abordaje más activa dentro de la cabina, al supervisar información en los sistemas embarcados convencionales más el CDTI. Por razones de practicidad este estudio se ha circunscripto a la “aplicación de separación de a bordo”, durante la fase “vuelo crucero”. Se ha desarrollado y diseñado un simulador de CDTI para realizar un estudio integral, poniendo especial atención no solo en el comportamiento de las tripulaciones sino también en la operación por parte de la tripulación del nuevo sistema propuesto. Por tal motivo, se llevan a cabo ensayos con una tripulación en un simulador de vuelo, con posteriores cuestionarios y entrevistas en donde se reflejan los comportamientos humanos, usados para optimizar y justificar el nuevo sistema.

## 2.- DESARROLLO

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. Con el objeto de presentar en forma clara el diseño de un simulador CDTI, se tratarán los procedimientos experimentales y resultados con el fin de mantener la separación de a bordo en vuelo crucero.

### 2.1.- Procedimiento Experimental y Resultados

Los aspectos **experimentales**, se resolvieron diseñando un instrumento similar a un CDTI convencional, con algunas modificaciones y agregados, instalándose en una notebook. De esta manera se pudieron ejecutar diferentes planes de vuelo reales en un simulador estático o entrenador de vuelo, perteneciente a la empresa 737 Flight Training Device. Este simulador no está certificado, pero el piloto que realizó esta experiencia como comandante del vuelo fue el Señor Marcelo Javier Fernández, contando con 5400 horas de vuelo, y su matrícula de piloto comercial "TLA 47413". Actualmente se desempeña como copiloto de MD en Aerolíneas Argentinas. A este simulador o entrenador, concurren tripulaciones que actualmente vuelan para diferentes compañías aéreas nacionales.

Este desarrollo fue realizado con software dedicado y adecuado al estudio. Para desarrollar el prototipo del simulador "SIMCDTI", en primera instancia se planteó el problema y modelo. Este modelo el cual se desea estudiar, está conformado por una tripulación en su cockpit, (comandante y primer oficial), la información ASAS presentada en un CDTI (virtual) donde los sistemas externos suministran información de situación operacional con respecto al resto de las aeronaves circundantes en el área, también son simulados. Para este caso particular se planteó un sistema de tierra plana, ya que el objetivo del estudio se encuentra en un rango de 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 una compañía aérea, que determina una serie de puntos definiendo una ruta específica y tomándose como requerimiento primario la documentación existente sobre CDTI.

Una vez definido el modelo y en base a las necesidades, se seleccionó para implementar el simulador, el lenguaje de programación C<sup>++</sup>, debido a su versatilidad, potencia de procesamiento bajo un entorno de desarrollo Eclipse. A su vez, para la administración de gráficos se recurrió a la librería multiplataforma OpenGL, por ser la mejor alternativa a los efectos de generar gráficos en tiempo real y que nos permita un buen comportamiento del instrumento para la interpretación de la tripulación. Cada uno de los objetos gráficos se definió como matrices de vértices y a partir de éstas son generados, rotados y posicionados en cada ciclo de simulación.

Una Interface Gráfica de Usuario se ha provisto a modo de panel lateral para poder interactuar con el simulador, alterando los parámetros para observar distintos casos posibles y llevar adelante las simulaciones previstas (ver [Figura 1](#)).



**Figura 1:** Interface gráfica de usuario o panel lateral de comandos para interactuar con el simulador

Se ha diseñado una “check list” para evaluar la actividad laboral de la tripulación, observando el desempeño y comportamiento, con sistemas embarcados convencionales y procedimientos estándar, y la introducción de nuevos sistemas embarcados dedicados 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 la Categoría 3: **“aplicación de separación de a bordo”**, que es lo que se pretende abordar en este trabajo. Analizado los resultados de las simulaciones, entrevistas y encuestas solicitadas a las tripulaciones, se procura estudiar cual es la influencia de este nuevos sistema incorporado en la cabina de una aeronave durante un vuelo crucero, para la separación de a bordo. En cuanto a los resultados el simulador “SIMCDTI”, fue probado por una tripulación, a la que posteriormente se le entregó un cuestionario para cada tripulante en particular, además de mantener una entrevista con cada uno.

**2.2.- EL CDTI** (cockpit display of traffic information)-visualizador de cabina para información de tráfico. Funciona de la siguiente manera:

Es una pantalla instalada en el cockpit de la aeronave, mantiene informada en tiempo real, a la tripulación de los tránsitos circundantes, adicionando información de ayudas a la navegación donde también los potenciales conflictos son mostrados. La información de tráfico para el CDTI es obtenida de diferentes fuentes, una la ADS-B y otro el ACAS. El CDTI usa un visualizador, o uno compartido multifunción (MFD), para mostrar la información de tráfico. Ésta es procesada y mostrada en el CDTI de la forma siguiente: la Unidad Procesadora de Display y Enlace, recibe información de vigilancia de tráfico del ADS-B disponible para enlace de datos; un Transmisor de Selector de Modo S (1090 MHz-), un Transmisor de Acceso Universal, (966 MHz) y un Enlace de Datos Modo 4 de muy alta frecuencia, (VHF-extensión 108-136 MHz), donde éste transfiere la información al CDTI para mostrarlo en cabina. El link data processor unit,-unidad procesadora de display y enlace (LDPU), contiene un receptor de 1090 MHz, un transmisor UAT, y un Sistema de Posicionamiento Global, ([ADS-B TF/3-IP/10, 2005<sup>ii</sup>](#)). Cada aeronave tiene instalado un Transpondedor Modo S que es usado para transmitir el denominado **“extended squitter”** en 1090 MHz y recibir información del Servicio de Información de Tráfico en 1030 MHz. El radio VDLM4 está separado del LPDU (ver [Figura 2](#)).

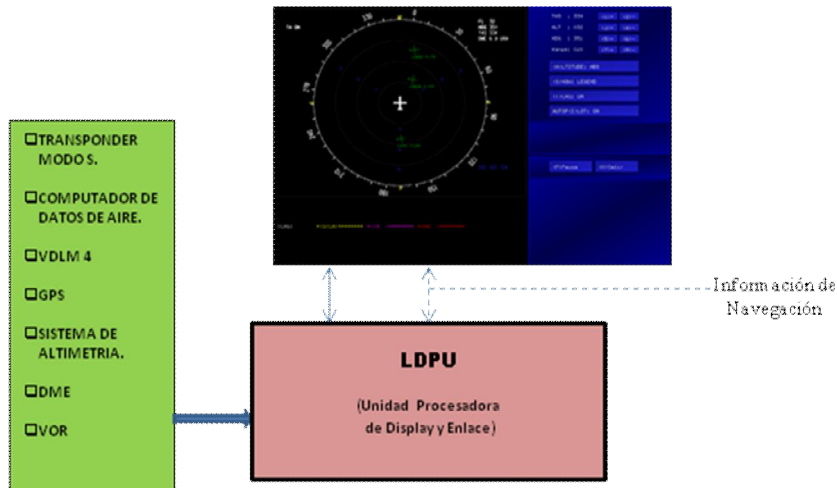


Figura 2: Esquema de funcionamiento.

El sistema propuesto tiene características muy particulares, siendo estas: la separación horizontal debe ser de 5 nm y la vertical de 700 ft., el closed point of approach-punto de mínima separación entre aeronave, (CPA) de 6 minutos es el punto de mínima separación entre aeronaves, ([Mathematics Drafting Group 2008<sup>iii</sup>](#)). La [Figura 3](#), representa la presentación en forma completa del propuesto sistema embarcado dedicado para mantener separación de a bordo en vuelo crucero. En él, podemos observar los diferentes tránsitos circundantes, siendo los mismos potenciales intrusos. Además muestra cuáles son los parámetros con que cuenta la tripulación del nuevo sistema, se puede apreciar también niveles de alarmas o ventanas reservadas para diversas etapas del vuelo ([CPA 2009<sup>iv</sup>](#)).



Figura 3: Presentación del Sistema Embarcado Dedicado



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

En la [Figura 4](#), se observa la ventana verde (1), que indica 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.

La ventanilla celeste-turquesa (2), muestra advertencias de tránsitos en las cercanías, a los efectos de estar en conocimiento, que lo separa 6 (seis) minutos, al denominado punto de mínima separación entre aeronaves (ver [Figura 5](#)).

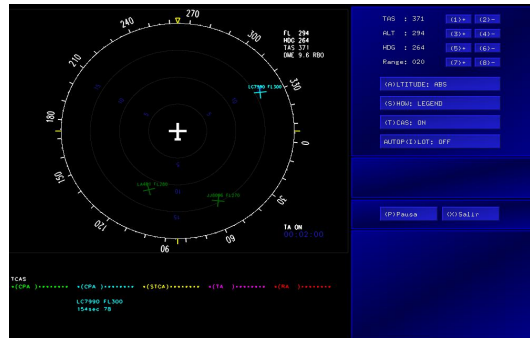


Figura 5: Advertencia, ventanilla 2, está a 6 (seis) minutos de separación.

La ventanilla tres (3) corresponde a, short term conflict alert-alerta de conflicto a corto plazo (STCA), lo cual significa que el intruso está a 2 (dos) minutos de perforar el límite del alerta de tráfico (TA), ([ATM 2009](#)<sup>v</sup>). Cuando es detectado, es anunciado con una alarma color amarillo intenso (visual) y una alarma audible suave y persistente (ver [Figura 6](#)).

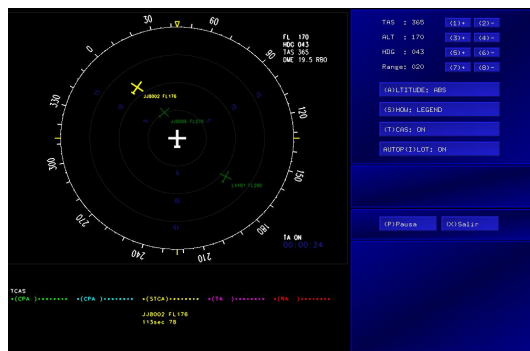


Figura 6: Advertencia, ventanilla 3, implica 2 (dos) minutos de separación.

La [Figura 7](#), la ventanilla fucsia (4), parpadeante y sonora con un nivel de audio muy intenso, indica que la separación es de 48 (cuarenta y ocho) segundos antes de arribar a la zona de conflicto. Estando ésta vinculada al alerta de tráfico del ACAS, el intruso está vectorizado y enmarcado a los efectos que la tripulación tome conciencia del nivel de alarma y no es solo precautorio sino que se deben tomar decisiones urgentes y perentorias, dado que el STCA ha sido no solo perforado sino también transpuesto. En estos casos de emergencia se comunicará al control de tránsito solicitando permiso para tomar la responsabilidad de las acciones a tomar.

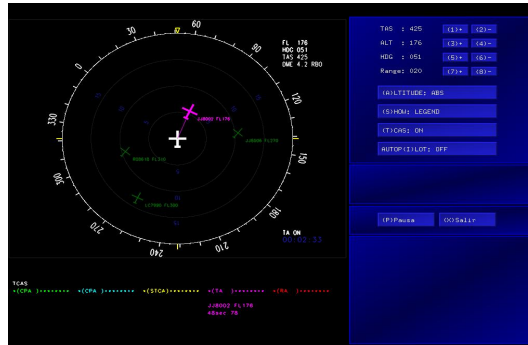


Figura7: Advertencia, ventanilla 4, indica 48 (cuarenta y ocho) segundos de separación.

En la [Figura 8](#), se observa que la alarma está relacionada en forma directa con alerta de resolución, por este motivo es de un color rojo (5) parpadeante intenso y una alarma 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 y la resolución de alerta de tránsito debe ser tomada en forma inminente.

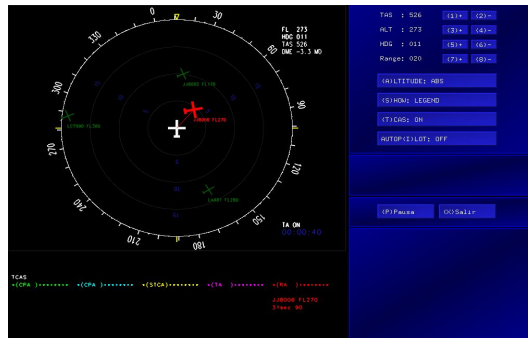


Figura 8: Advertencia, ventanilla 5, indica 35 (treinta y cinco) segundos de separación.

### 3.- CONCLUSIONES (PRELIMINARES).

Como conclusiones preliminares podemos adelantar que si bien el sistema propuesto en general tuvo aceptación por la tripulación quien realizó la simulación, existieron sugerencias de realizar algunas modificaciones, mejoras, agregar alarmas y disponer de mayor información.

Otro de los comentarios que dejaron bien enfatizado y les preocupó el exceso de confianza de saber en donde específicamente están los tránsitos y en consecuencia demorar la toma de acciones correctivas con respecto a aquellos.

En lo referente a factores humanos, hubo observación con respecto a quién debía realizar algunas actividades que no se especificaban claramente y no estaban catalogadas en los procedimientos.

Otro detalle importante que manifestó la tripulación, el no estar familiarizado con el nuevo sistema, lo cual hizo que no se sintieran cómodos y/o seguros, se sugirió entrenamiento de familiarización para conocerlo más, previo al vuelo.

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



## AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento especial a mi Director de Tesis Dr. Francisco J. Sáez Nieto y al Señor Ing. Eduardo J. García González por haberme facilitado información valiosa desarrollada por ellos. También mi reconocimiento a quien creyó en este trabajo, además por su paciencia y dedicación profesional al Sr. Primer Oficial Marcelo Javier Fernández, que con su profesionalismo realizó en el simulador los ensayos necesarios para que este trabajo saliera excelente. Lo mismo para el [Señor Mario Aguirre](#)<sup>vi</sup> que es dueño del simulador donde se realizó esta experiencia. Mi gratitud a mi amigo, el Ing. Daniel S. Monserrat quien realizó toda la programación del simulador, poniendo toda su experiencia y paciencia a mi disposición.

## 4.- REFERENCIAS

---

<sup>i</sup> International Civil Aviation Organization (ICAO-OACI). *Undécima Conferencia de Navegación Aérea. AN-Conf/11-WP/190 y /64*. Montreal, 22 setiembre al 3 de octubre de 2003.

<sup>ii</sup> Kojo Owusu, Greg Dunstone. International Civil Aviation Organization (ICAO-OACI). *Development of Cockpit Display of Traffic Information (CDTI)*. ADS-B TF/3-IP/10. 2005.

<sup>iii</sup> Eduardo José García González, Francisco J. Sáez Nieto. *Classification and Evaluation of Proximate Events*. Mathematics Drafting Group. España. January 2008.

<sup>iv</sup> Eduardo José García González, Francisco J. Sáez Nieto. *Clasificación y Evaluación de Eventos de Proximidad en Espacios Aéreos de Ruta y Alto Densidad. (CPA)*. España. 2009.

<sup>v</sup> Francisco J. Sáez Nieto, Eduardo J. García González, Gerard Mc. Auley. *In-Depth Analysis of Proximate Events Based on Radar Data Processing*. Eighth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar. ATM 2009.

<sup>vi</sup> [www.737ftd.com.ar](http://www.737ftd.com.ar)