

ESTUDIO DE LA ADAPTABILIDAD DE TRIPULACIONES A UN NUEVO SISTEMA AUTOMÁTICO INTELIGENTE PARA MANTENER SEPARACIÓN DE A BORDO, EN VUELO CRUCERO, MEDIANTE EL USO DE SIMULACION

Enrique Ricaud Álvarez^a y Daniel S. Monserrat^b

^a Departamento de Navegación Aérea, Universidad Politécnica de Madrid
Plaza Cardenal Cisneros 3 – Madrid – España

^b Departamento de Aeronáutica, Facultad Regional Haedo, Universidad Tecnológica Nacional
Paris 532 - Haedo - Argentina.
Email: e2-marias@hotmail.com

RESUMEN

En la seguridad operacional son importantes los sistemas embarcados para la vigilancia y resolución de conflictos, con correcciones automáticas para mantener la separación de a bordo minimizando los riesgos en el “control de tráfico aéreo”, brindando a las tripulaciones información en tiempo real. OACI (Organización Internacional de Aviación Civil), definió el ASAS (sistema de asistencia de separación de a bordo), como: un sistema de aeronave para la vigilancia de a bordo, asistiendo a la tripulación en vuelo para mantener la separación de su aeronave con respecto a otras del entorno; permitiendo vigilancia de a bordo, sustentada por la ADS-B (automatic dependent surveillance-broadcast), la TIS-B (traffic information services-broadcast), y el TCAS (sistema anticolidión de alerta de tráfico). Esta vigilancia es realizada por un nuevo sistema automatizado, denominado “Sim CDTI” (simulator CDTI). El A/P (autopilot), realiza las maniobras para mantener la separación horizontal y vertical, evitando predictivamente conflictos. Se presentan las evaluaciones de adaptabilidad de las tripulaciones ante un sistema automatizado, donde el A/P ejecuta maniobras adecuadas para mantener la separación y evitar conflictos. Se evalúa que la seguridad operacional no es infringida con este sistema, presentándose el desarrollo de un simulador para tal fin.

Palabras clave: Seguridad, ASAS, Sim CDTI, ADS-B, ACAS.

INTRODUCCIÓN

El transporte aéreo se ha incrementado considerablemente, en consecuencia la industria aeronáutica. Para no comprometer la seguridad aérea, se propone optimizar el espacios aéreos, manteniendo los estándares de seguridad operacional, y mejorar las capacidades de vigilancia de las aeronaves; motivo éste que el grupo de trabajo SCRSP, (surveillance and conflict resolution system panel), de la OACI definió el ASAS, como ya vimos anteriormente y definió cuatro tipos de aplicaciones: **a)** aplicaciones de conciencia de la situación del tráfico; **b)** aplicaciones de espaciamiento de a bordo; **c)** aplicaciones de separación de a bordo; y **d)** aplicaciones de auto-separación de a bordo [1]. ASAS es reconocido como un sistema de cockpit que administra información con el fin de mantener la separación respecto a los tráficos circundante, proporciona función de vigilancia de a bordo, sustentada por la aplicabilidad de la ADS-B, el TIS-B y el TCAS. Su uso es insustituible para la vigilancia desde a bordo, del espacio aéreo circundante [2]. En los espacios aéreos superiores controlados de baja densidad de tráfico se disponen de sistemas terrestres para la vigilancia del tráfico, y para mantener las separaciones. En estos espacios y especialmente en la fase del vuelo crucero, el desplegar estos medios técnicos y humanos para la vigilancia es generar un coste adicional de recursos económicos y materiales. Este trabajo propone un sistema embarcado inteligente con capacidad técnica de realizar una vigilancia de a bordo, para mantener las separaciones automáticamente. Después de haber realizado diferentes tipos de pruebas operacionales con la utilización de la ADS-B, la TIS-B y el CDTI (*cockpit display of traffic information*) [3], como tecnologías habilitadoras con funciones de conciencia situacional de tráfico a bordo y separación de a bordo, se ha observado con atención al ASAS, despertando un gran interés en la comunidad aeronáutica internacional. ASAS posee diferentes tipos de separación dependiendo del grado de delegación de responsabilidad a bordo,

según exijan las fases del vuelo, y los espacios aéreos. Los modos con base en tierra, incluyen espacios con Trayectoria de Precisión, y contemplan los nuevos modos de separación utilizando aplicaciones ASAS para: Separación Cooperativa, la responsabilidad de mantener el espaciamiento es delegado temporalmente en la aeronave; y, Auto-separación, la tripulación tiene toda la responsabilidad designada en un segmento definido de la operación [4]. Nos abocaremos a la primera. El sistema propuesto es para ser usado con responsabilidad parcialmente delegada en la tripulación, asegurando la separación de a bordo respecto a otras aeronaves, durante dos puntos específicos ya establecidos de la operación, o cuando sea requerida nuevamente. Este concepto presupone una carga laboral adicional para mantener una vigilancia de abordó más activa dentro del cockpit, supervisando los sistemas embarcados convencionales y los embebidos inteligentes, con actualización en tiempo real de los tráficos circundantes a las tripulaciones, se realizan automáticamente las maniobras para mantener la separación lateral y vertical, coordinando con la otra aeronave, para evitar conflictos. Nos limitamos a la separación de a bordo, en la fase de vuelo de crucero [5].

Estado del Arte

En los años 70 hasta la fecha, NextGen, SESAR (Single European Sky ATM Research), EUROCONTROL, MITRE, FAA (Federal Aviation Administration), OACI, proveedores de Servicios de Navegación Aérea, fabricantes, aerolíneas, y diversas instituciones han realizado innumerables estudios de los visualizadores en cabina de vuelo, comportamiento de las tripulaciones, publicándose importantes trabajos de diferentes instituciones relacionadas con: dimensiones de las pantallas, tasa de actualización, símbolos, uso de pantallas, y factores humanos [6]. Se han realizado otros trabajos, referidos a la vigilancia y resolución de conflictos, pudiendo citar algunos: evaluación del CDTI/ADS [7]; nuevos conceptos para la separación [8]; resolución de conflictos en vuelo libre [9]; pantallas de información de tráfico [10]; mantenimientos longitudinales [11]; safety assessments of ADS-B and ASAS [12]; concepto de espacio aéreo automatizado [13]; concepto de sistema de control de tránsito aéreo de próxima generación [14]; airborne e información a tierra para espaciado lateral [15]; safeflight 21 opeval-2 [16]; responsabilidad limitada [17]; recuperación de separación perdida [18]; crew resource management training [19]; dimensiones del display y geometría del conflicto [20]; información sobre el tráfico asistida de separación visual [21]; conciencia situacional [22]; airborne collision avoidance system [23]; factores humanos en la aeronáutica [24]; embedded overall [25]; sistema mundial de navegación aérea [26]; viabilidad y beneficios de una cabina de tráfico [27]; conflict detection & resolution [28]; sistemas embebidos [29]; concepto operacional de gestión del tránsito aéreo mundial [30]; avionics systems [31]; automatic dependent surveillance-broadcast operations [32]; Este estudio pretende hacer un aporte para la solución del problema planteado.

Funcionalidad del Sistema Embebido Inteligente Sim CDTI

Los sistemas embebidos son construidos para realizar una tarea, completa o parcialmente independiente de la intervención humana, y diseñados para ejecutar un conjunto de tareas de la forma más eficiente, interactuando con elementos físicos de nuestro ambiente. La vigilancia y acciones correctivas, son realizadas por la introducción del nuevo sistema embebido inteligente, brindando automáticamente anuncios en el Sim CDTI. Este sistema realiza acciones correctivas automáticas, en los ejes horizontal y vertical, en tiempo real con respecto a los tráficos circundantes. Siguiendo esta filosofía el sistema embebido inteligente que se propone, deberá tener las siguientes características de funcionamiento: **(a)**.- Mejorar la conciencia situacional de la tripulación sobre los tráficos circundantes, en tiempo real a través de la ADS-B, TIS-B y satélites. **(b)**.- Determinación de los conflictos potenciales entre aeronaves mediante las lógicas de vigilancia, de espaciamiento, y de resolución de conflictos. **(c)**.- Coordinación de la maniobra de resolución de conflictos con la otra aeronave mediante enlace de datos aire-aire. **(d)**.- Agrega beneficios operacionales, redundando en el conocimiento intensificado del espacio con una temprana identificación predictiva de conflictos. **(e)**.- Ejecución de las maniobras correctivas para mantener las separaciones laterales y verticales de forma automática mediante el uso del A/P. **(f)**.- Visualización, en el repetidor del F/D (flight director), de la evolución de las acciones ejecutadas. **(g)**.- Por fallo del A/P se podrán visualizar las maniobras manuales con la asistencia del F/D. **(h)**.- Las tripulaciones dispondrán de información redundante.

Arquitectura del Sim CDTI

En la **Figura 1**, apreciamos la arquitectura del Sim CDTI, incorporando un monitor y un panel de vuelo, instalado en el pedestal de la cabina de vuelo, donde la tripulación visualiza los tráficos circundantes, ayudas a la navegación e interactúa con el resto de los sistemas. La presentación de las trayectorias de los conflictos en el horizonte temporal por pérdida de separación son predictivas, y calculadas por los sistemas embarcados. La información de los tráficos circundantes es obtenida por el sistema embebido inteligente por intermedio del Computador de Navegación, que a su vez dispone de una gran base de datos de navegación, con modelos programados de maniobras siendo usadas a requerimiento para no perder separación y evitar conflictos. Este Computador es alimentado por diferentes sensores instalados a bordo, satélites, y sistemas terrestres. Estas señales son procesadas y enviadas a los sistemas embarcados de la aeronave. Esta información se muestra en el Sim CDTI de la siguiente forma: la Unidad Procesadora de Monitor, recibe información de vigilancia de tráfico disponible por los datos recibidos de otras aeronaves. Cada aeronave cuenta con un transpondedor Modo S, permitiendo transmitir el denominado “extended squitter”, y recibir información del ADS-B y TIS-B en tiempo real. El Computador de Navegación también alimenta al módulo de correcciones automáticas, donde se encuentran el A/P y el F/D [16]. El A/P ejecutará las maniobras necesarias para mantener la separación de a bordo respecto de otros tráficos, mostrando su evolución en el F/D, y los resultados finales en el Sim CDTI. Las maniobras se llevarán a cabo, finalizada la coordinación con la otra aeronave mediante enlace de datos -aire-aire-.

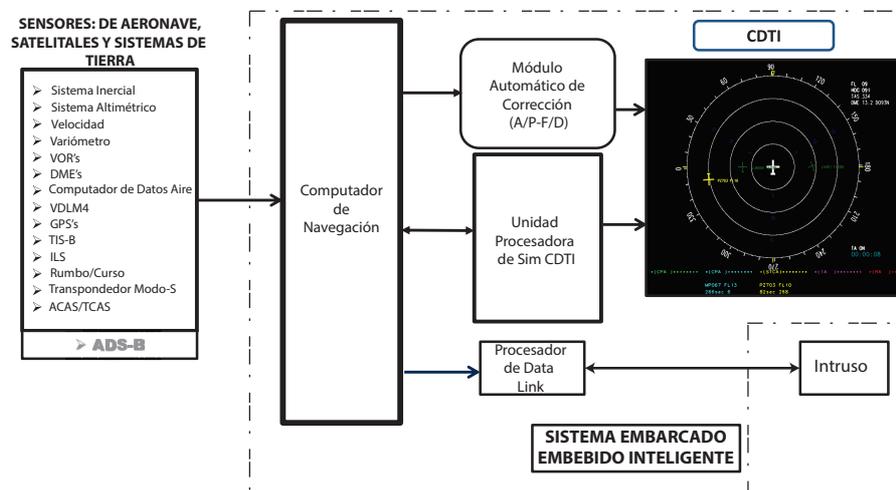


Figura 1: Arquitectura del Sim CDTI

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE OPERACIÓN

Este sistema cumplirá las siguientes especificaciones, para la separación de a bordo en vuelo crucero en espacios aéreos superiores de baja densidad remotos u oceánicos; OACI sugiere las siguientes recomendaciones: **(1)**.- Separación lateral de 50 nm (92,6 Km) [33]; **(2)**.- Separación vertical de 1000 ft. (304 metros); **(3)**.- Velocidad propuesta para ascenso o descenso indicada por el TCAS será de 1500 pies/min. (457 mts./min.); **(4)**.- Para operar en este espacio las aeronaves deberán tener instalados y en servicio la ADS-B; **(5)**.- La delegación de la responsabilidad parcial en la tripulación como procedimiento normalizado será a partir del punto final de ascenso, y nivelado crucero -TOC (top of climb)-, finalizando en el momento que el control de tráfico lo requiera, o cuando haya concluido el tiempo estipulado -TOD (top of descend)-; **(6)**.- El CPA (closed point of approach), es el tiempo que se tarda en llegar al lugar de mínima separación entre aeronaves, es de 8 minutos.

TIEMPOS DE PROTECCIÓN Y ETAPA DE GESTIÓN DE CONFLICTOS

OACI, definió al conflicto: como cualquier situación en la que estén implicadas aeronaves y peligros, en donde pueden verse comprometidos los mínimos de separación aplicables [30]. Este sistema propuesto posee las siguientes particularidades, que se expresan en la **Figura 2** [34]:

- i. El punto t_{CI} (identification of potencial conflict), es en donde la aeronave recibe información de la presencia de tráficos, que están en curso de infringir distintas barreras, ocasionando la pérdida de separación, y entrando en conflicto con nuestra aeronave. Se está a 8 minutos del CPA.
- ii. El punto t_{CR} (start of a conflict resolution manoeuvre), es donde se recibe información predictiva, en consecuencia el piloto automático debe actuar y comenzar la maniobra para evitar llegar a la situación de conflicto; la separación se ha perdido, se considera que faltan 6 minutos al CPA.
- iii. CSTCA (cabin short term conflict alert), la aeronave recibe información, que se está aproximadamente a 2 minutos de entrar en la zona de prevención de colisiones. CSTCA es alarma exclusiva de cabina.
- iv. El punto t_{CF} (predicted time of entry into conflict volume), es el comienzo de la capa de prevención de colisiones, es zona de conflicto. Se encuentran las alertas TCAS.

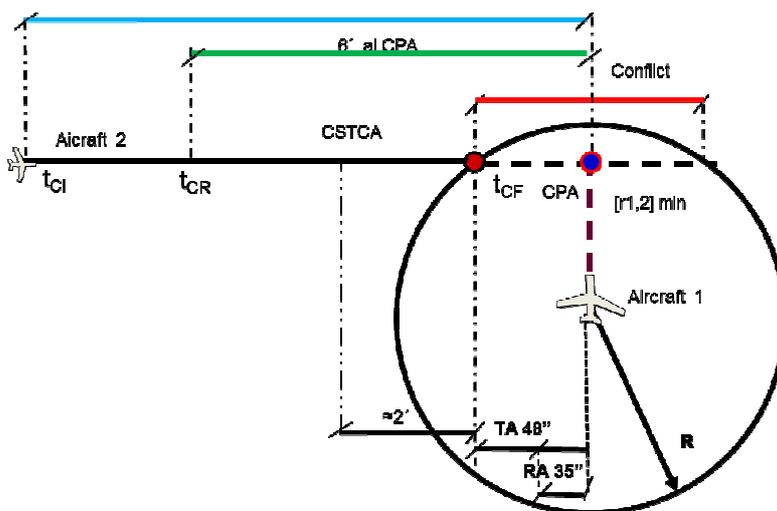


Figura 2: Tiempos de protección de separación y etapa de gestión del conflicto

ALGORITMOS DE LAS FUNCIONES LÓGICAS

Lógica de Vigilancia

El Computador de Navegación se actualiza por los sensores embarcados de la aeronave, y por la ADS-B de otras, esta información es procesada, conformándose mensajes con transmisión automática a otros tráficos circundantes que dispongan de ADS-B. El TCAS realiza su propio relevamiento de tráficos, interrogando a las aeronaves en su proximidad detectando los transpondedores Modo S que respondan. Con esta recolección de información el Computador de Navegación procesa la información de tráficos. La **Figura 3** 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 los otros tráficos, manteniendo la separación de las 50 NM, para no entrar en zona de pérdida de separación y posterior conflicto. La **Figura 4** se denomina función lógica de vigilancia en el plano vertical, con la información del ADS-B, el sistema puede verificar que las aeronaves que están en su área llevan la separación adecuada, incluyendo la nuestra con respecto al resto de los tráficos. Esta figura indica el algoritmo que se usará para efectuar esta vigilancia.

Lógica de Separación

En la secuencia lógica de cada aeronave dentro de su rango de vigilancia, la función separación en relación a las predicciones realizadas evaluará y categorizará a los tráficos en relación al tiempo y separación que se encuentra con respecto de nuestra aeronave, actualizándose en tiempo real. Esta función lógica ve hacia adelante aproximadamente 20 minutos, realizando en tiempo real comprobaciones de presencia de tráficos próximos, y que están por infringir los mínimos de separación lateral o vertical. Si se detectasen irregularidades, la función lógica del computador calcula y propone la maniobra óptima programada para recuperar la separación y evitar conflictos, la maniobra es ejecutada por el A/P.

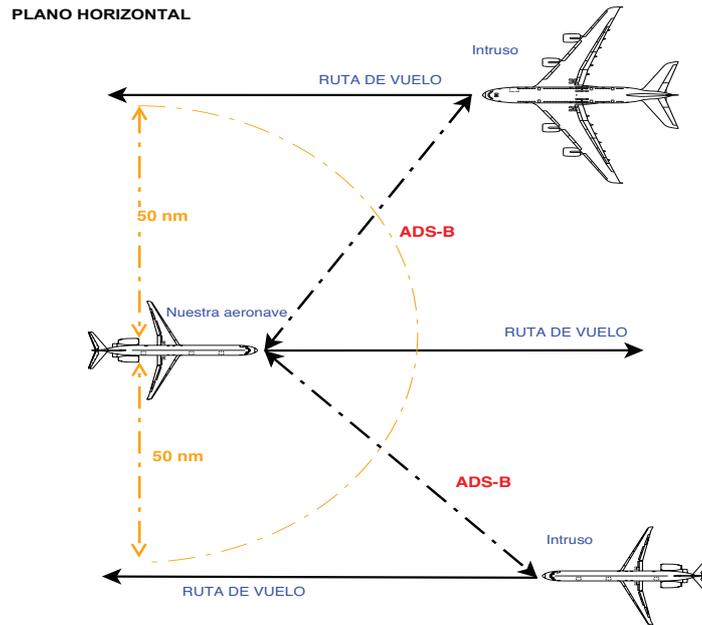


Figura 3: Función Lógica de Vigilancia (Plano Horizontal)

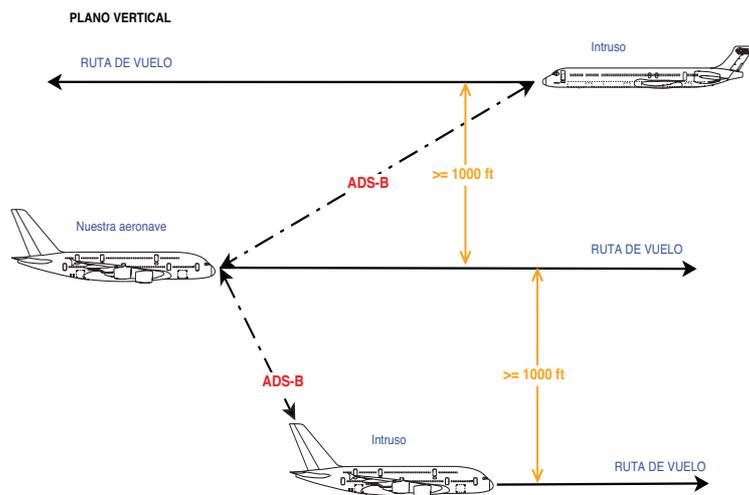


Figura 4: Función Lógica de Vigilancia (Plano Vertical)

Simulador

La Figura 5, muestra la interface del nuevo sistema embebido inteligente, es el visualizador que se propone, es donde se muestra la información de tráficos circundantes, sus posiciones relativas con respecto a nuestra aeronave, vigilando en todo momento la separación de a bordo en vuelo crucero, considerando a los tráficos circundantes como intrusos [35]. Se observan múltiples parámetros (rumbo, nivel y velocidad de operación, rango de lectura, etc.), en el panel de vuelo principal, y en el secundario se dispone de radioayudas. En la parte inferior del instrumento se encuentran cinco ventanas reservadas para las etapas de vigilancia y alarmado por tráficos.

Panel de Vuelo Principal (Figura 5)

Es usado como interface hombre/máquina, muestra los siguientes comandos:

Nota: los casilleros laterales son para incrementar o no los parámetros en el sistema virtual.



Figura 5: visualizador CDTI

TAS (true airspeed): velocidad de vuelo.

ALT (altitude): nivel de vuelo.

HDG (heading): rumbo de la aeronave.

RANGE: lectura en nm (millas náuticas). Esta lectura va desde 2.5 nm, a un máximo de 320 nm.

(A)LTITUDE: altura en pies o en metros de los tránsitos circundantes.

(S)HOW LEGEND/ID: etiqueta identificadora de los tránsitos circundantes.

(T)CAS ON/OFF: el sistema anticolidión está activo o no.

AUTOP(I)LOT ON/OFF: el A/P está activo o no, ejecuta la navegación de la aeronave.

Hay un repetidor del FD en el panel de vuelo, se visualizarán las maniobras correctivas de vigilancia.

Panel Secundario (Figura 5): Se cuenta con información de respaldo. El panel de vuelo secundario muestra los parámetros indispensables y radioayudas para la fase de vuelo de crucero. Éste, está partido, encontrándose en la parte superior e inferior derecha de la pantalla.

Parte Superior

FL (flight level): nivel de vuelo.

HDG: rumbo de nuestra aeronave.

TAS: velocidad de nuestra aeronave.

DME(distance measuring equipment): distancia (nm) restante al próximo waypoint

Parte Inferior

TA ON: TCAS activo.

CLOCK: tiempo de duración de la operación.

Ventanas de Vigilancia y Alarmado: están en la parte inferior del visualizador de Sim CDTI.

➤ Ventanillas:

- ❖ **verde**, la tripulación recibe información de que un intruso está en curso de vulnerar la primera barrera de protección, en breve se perderá la separación. El tiempo al CPA es de 8 minutos.
- ❖ **celeste-turquesa**, advertencia de tráficos cercanos, el tiempo faltante para arribar al CPA es de 6 minutos. El A/P ha comenzado a ejecutar la maniobra para mantener la separación.
- ❖ **amarilla**, el intruso está a tan solo 2 minutos de entrar en la etapa de prevención de colisiones, antes de ser disparadas las alertas TCAS. La CSTCA es una alarma exclusiva de cabina.
- ❖ **magenta**, se dispara la 1ra. alerta de tráfico (TA) (traffic advisory), el intruso comienza a parpadear en la pantalla, hay una alarma audible, que hay 48 seg. para tomar acción evasiva.
- ❖ **roja**, es alarma de resolución por tráfico (RA) (resolution advisory), y última protección. Alarma intensa parpadeante, el intruso se señala y parpadea, se está a 35 seg. de colisionar.

RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Fueron cuatro experiencias las realizadas, con distintas tripulaciones, en un simulador de vuelo estático. A éstas se les realizó entrevistas y encuestas, deduciéndose que los resultados obtenidos son

prometedores, previendo repetir la experiencia. Estos ensayos tuvieron como objetivo estudiar los comportamientos, actitudes, adaptabilidad, interpretación, y operación por parte de una tripulación del nuevo sistema embebido inteligente que se propone. Las tripulaciones estuvieron satisfechas por los resultados obtenidos, se contó con buena predisposición por parte de ellas. Fue elogiada la automatización y características del sistema, se destacó que las maniobras para mantener la separación de a bordo y evitar conflictos, son ejecutadas por un sistema inteligente automático, con coordinación entre las aeronaves, e indicaciones en tiempo real, las tripulaciones se sintieron seguras supervisando y visualizando dichas maniobras. Se enfatizó la necesidad de mayor capacitación y entrenamiento de las tripulaciones, con la adecuación de los cursos por la incorporación de las nuevas tecnologías en las cabinas de vuelo. Las tripulaciones serán concienciadas que deberán tener una actitud de supervisión con los sistemas de automatización. Se elogió que la conciencia situacional de la tripulación se mantuvo actualizada en tiempo real en lo referente al estado de los tráficos circundantes. Como resultados relevantes, se pueden resumir los siguientes puntos:

- Fue elogiada la sencillez con que se podía acceder a la lectura del Sim CDTI.
- Se coincidió en que el grado de alarma, indica el tipo de emergencia que es el adecuado.
- Se elogió la reducción del trabajo en esta fase del vuelo, por la automatización.
- Las tripulaciones no percibieron ventajas respecto a la seguridad, pero el vuelo fue más descansada.
- Las tareas de la tripulación en la cabina deberán en el futuro estar más delimitadas.
- Se sugirieron modificaciones menores, mejoras en tonos de alarmas, colores.
- Algunas tripulaciones estaban preocupadas por la confiabilidad en la automatización.
- Preocupó la automatización de última generación que conduce a distracciones.

CONCLUSIONES

Se propone un simulador para evaluar la adaptabilidad de una tripulación por la incorporación de nuevas tecnologías en un cockpit, y operar en un espacio aéreo superior de baja densidad de tráfico. Las modificaciones y mejoras sugeridas para introducir en el Sim CDTI se valorarán en futuras simulaciones que se llevarán a cabo. Con respecto a los recursos humanos, podemos adelantar que la adaptabilidad de las tripulaciones en general fue positiva aunque, se debe enfatizar la necesidad de capacitación específica de equipamiento de última generación, de sistemas embebidos inteligentes con correcciones automáticas para mantener la separación. Un aspecto importante que se debía diferenciar perfectamente en los procedimientos son las actividades para cada tripulante. Una conclusión importante e interesante de este trabajo fue el tener la certeza de que la conciencia situacional de las tripulaciones fue en todo momento valorada y tenida muy en cuenta por éstas. Otro aspecto a tener en cuenta fue que los sistemas automatizados son de gran valía para las tripulaciones bien entrenadas, esto implica una mayor capacitación. Se sugirió introducir varias modificaciones y mejoras.

REFERENCIAS

1. Undécima Conferencia de Navegación Aérea. Sistema de Asistencia de Separación de a Bordo (ASAS). Montreal, 22/09 al 03/10/2003. AN-Conf/11-WP/64 - 02/07/03.
2. Grupo de Expertos sobre Sistemas de Vigilancia y Resolución de Conflictos (SCRSP). Primera Reunión. Montreal, 8-19 /11/04. SCRSP/1-WP/29. 13/8/04.
3. J.J. Cieplak, and E. Hahn. Safe Flight 21: The 1999 Operational Evaluation of ADS-B Applications. 3rd. USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar Napoli.13-16/6/2000.
4. SESAR Consortium - The ATM target concept D3-09/07.
5. Global Air Traffic Management Operational Concept. Doc. 9854. First Edition. 2005. ICAO.
6. K.DiMeol, P.Kopardekar, R.Ashford, S.Loquito, M.A.Mackintosh, W.J. Hughes. Separación Compartida: Resultados empíricos y las implicaciones teóricas. ATM Seminar USA/EUROPE. Seminar 4. Santa Fe. New Mexico, USA, 04-07 /11/2001.
7. V.Battiste, R.Ashford, B.O. Olmos. Evaluación Inicial del CDTI / ADS-B para operadores: Ohio Valley evaluación operativa de CAA. 2000 World Aviation Conference. 10/10/00.
8. Brétigny, G.Livack. Conceptos para el aseguramiento de la separación basada en la carlinga. Technical Interchange Meeting. 14-16/12/00.

9. G.Granger, N.Durand, J.M.Alliot. Estrategia de asignación de emergencia para vuelo libre la resolución de conflictos. Centre d'Etudes de la Navigation. Aérienne. 2001.
- 10.D.Comerford, J.Uhlarik. La ilusión ARC-Size en su aplicación a pantallas planas de aviones, de información de tráfico. Proceeding of the Human Factors and Ergonomics Society 45th Annual Meeting. SAGE Journals vol. 45. 8/10/01.
- 11.A.L.M.Abeloos, J.A.T.Hilst, M.Mulder, M.M.Paassen, E.Hoffman. Diseño de una pantalla de la cabina de información de tráfico (CDTI) para el mantenimiento de la separación longitudinal. France. 20th Conference (Volume 2). 14-18/10/01.
- 12.A.D. Zeitlin. Evaluación de seguridad de ADS-B y ASAS. MITRE/CAASD. 4th USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar Santa Fe, 3-7/12/01.
- 13.H.Erzberger. El concepto de espacio aéreo automatizado. Paper prepared for the 4th. USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar. Santa Fe, New Mexico, USA. Dec. 3-7/12/01.
- 14.H.Erzberger, R.A. Paielli. Concept for Next Generation Air Traffic Control System. 6/8/02.
- 15.V.Battiste, H.Bochow S. N.H. Johnson. Airborne and Ground Information for Lateral Spacing During Closely Spaced Paralled Approach Operation. Digital Avionics Systems Conference. Proceeding. The 21st. (Volum: 2). USA. 2002.
- 16.K.M.Joseph, D.Domino, V.Battiste, R.S. Bone. B.O.Olmos. A summary of flightdeck observer data from, SafeFlight 21 OpEval-2. MITRE CAASD. Final Report. 02/2003.
- 17.W.W.Johnson, V.Battiste, S.H.Bochow. Una pantalla de la cabina, diseñada para permitir limitar la responsabilidad de separación desde la cabina de vuelo. Journal of Aerospace. USA. 03/2003.
- 18.R.Barhydt, Dr. T.M.Eischeid, M.T.Palmer, D.J.Wing. 5th USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar. Hampton VA USA. Budapest. 23-27/6/03.
- 19.Tripulación de Capacitación en Gestión de Recursos. FAA AC 120-51E. 22/1/04.
- 20.L.C.Thomas, C.D.Wickens. Display Dimensionality and Conflict Geometry Effects on Maneuver Preferences Resolving In-Flight Conflicts. Proceedings of the human factors and ergonomics society 49th Annual meeting. University of Illinois. SAGE Journal Vol. 50 N° 4. 08/2008.
- 21.S.B.Randall. Cockpit Display of Traffic Information (CDTI) Assisted Visual Separation (CAVS): Pilot Acceptability of a Spacing Task During a Visual Approach. MITRE. 6th USA / Europe Air Traffic Management R&D Seminar. USA. Baltimore, MD. 27-30/6/05.
- 22.G.A.De Ibarra. Situational Awareness in Air Operations. Piloto. ALAS Magazine. Arg. 6/7/06.
- 23.Airborne Collision Avoidance System (ACAS) Manual. ICAO. Doc. 9863. First Edition. 2006.
- 24.Human Factors in Aviation. DGAC. Mexico. 1/6/07.
- 25.E.McKenna. Avionics. Embedded Overall. Avionics Magazine, www.avtoday.com/av. 1/12/2008.
- 26.J.Nagle. Sistema Mundial de Navegación Aérea. Navegación basada en la performance. Tecnologías emergentes. CNS/AIRS. DF México. OACI. 4-8/5/09.
- 27.Dr. A.M. Mundra, D.A.Domino, J.R. Helleberg, A.P.Smith. Viabilidad y beneficios de una cabina visualizadora de Tráfico basada en Procedimiento de separación para las llegadas y salidas en una sola pista. Eighth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar. ATM 2009. MITRE. 2009.
- 28.D.Kügler. Conflict Detection & Resolution Tools Case Study: Überlingen Accident. La Granja, España. www.hala-sesar.net. 9-12/7/2012.
- 29.Dr. A.González Potes. Embedded Control and Monitoring Systems. School of Telematics. School of Mechanical and Electrical Engineering. Mexico. University of Colima.
- 30.OACI. Operational Concept Global Air Traffic Management. Doc. 9854. Edition 2005.
- 31.E. Theunissen, T.J. Etherington. Reinventing the past: Avionics systems that didn't make it. Conference in Seattle. Digital Avionics Systems Conference, IEEE/AIAA 30th. 16-20/10/ 2011.
- 32.FAA. Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) Operations. AC 90-114. 21/9/12.
- 33.OACI. Performance-based Navigation (PBN). Manual Volume II. Doc. 9613. 2013.
- 34.E. García, F. Sáez, R. Arnaldo. High Density en Route Airspace Safety Level and Collision Risk Estimation Based on Stored Aircraft Tracks. EIWAC. Tokyo. Japón. 11/10/10.
- 35.K.Owusu, G. Dunstone. Development of Cockpit Display of Traffic Information (CDTI). ADS-B TF/3-IP/10. Airservice, Australia. The third Meeting of Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B), Study and Implementation Task Force ICAO. Bangkok 23-25/3/2005.